



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

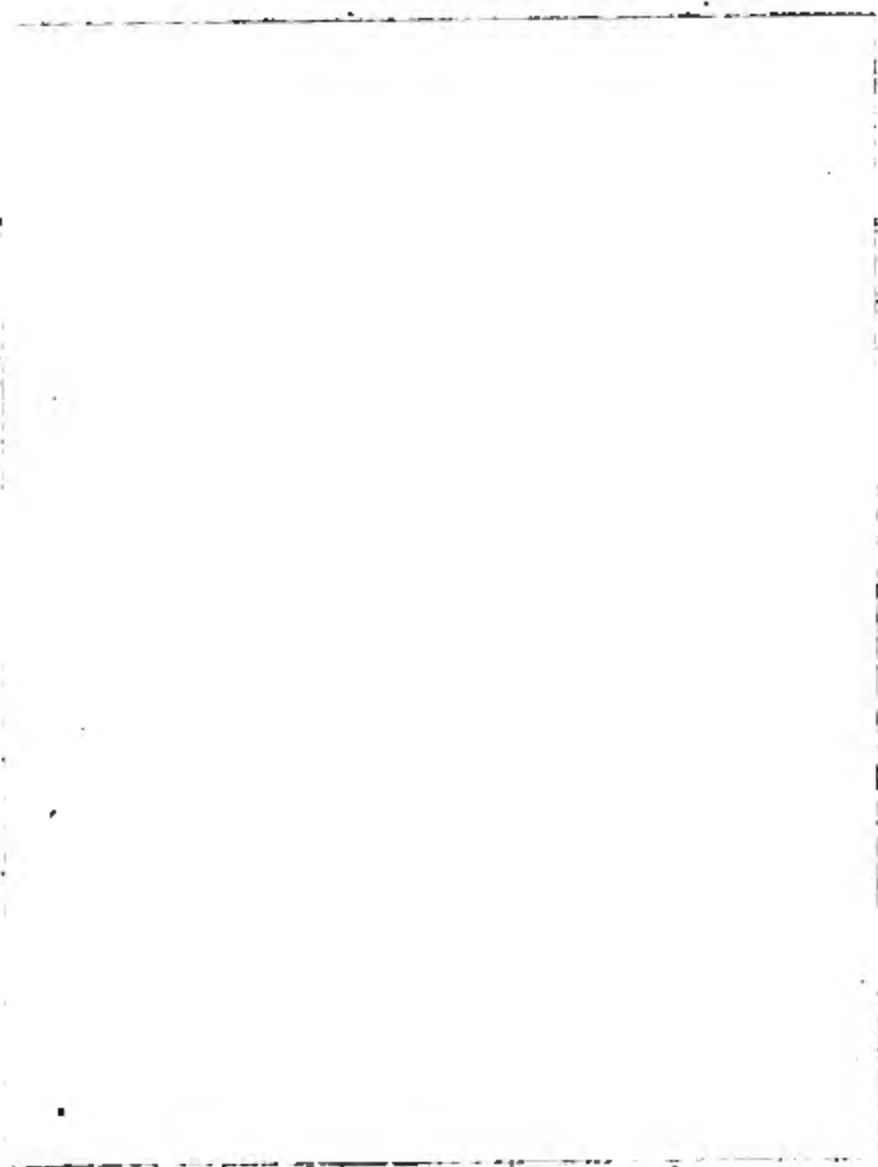
Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

- + *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
- + *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
- + *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
- + *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse <http://books.google.com>

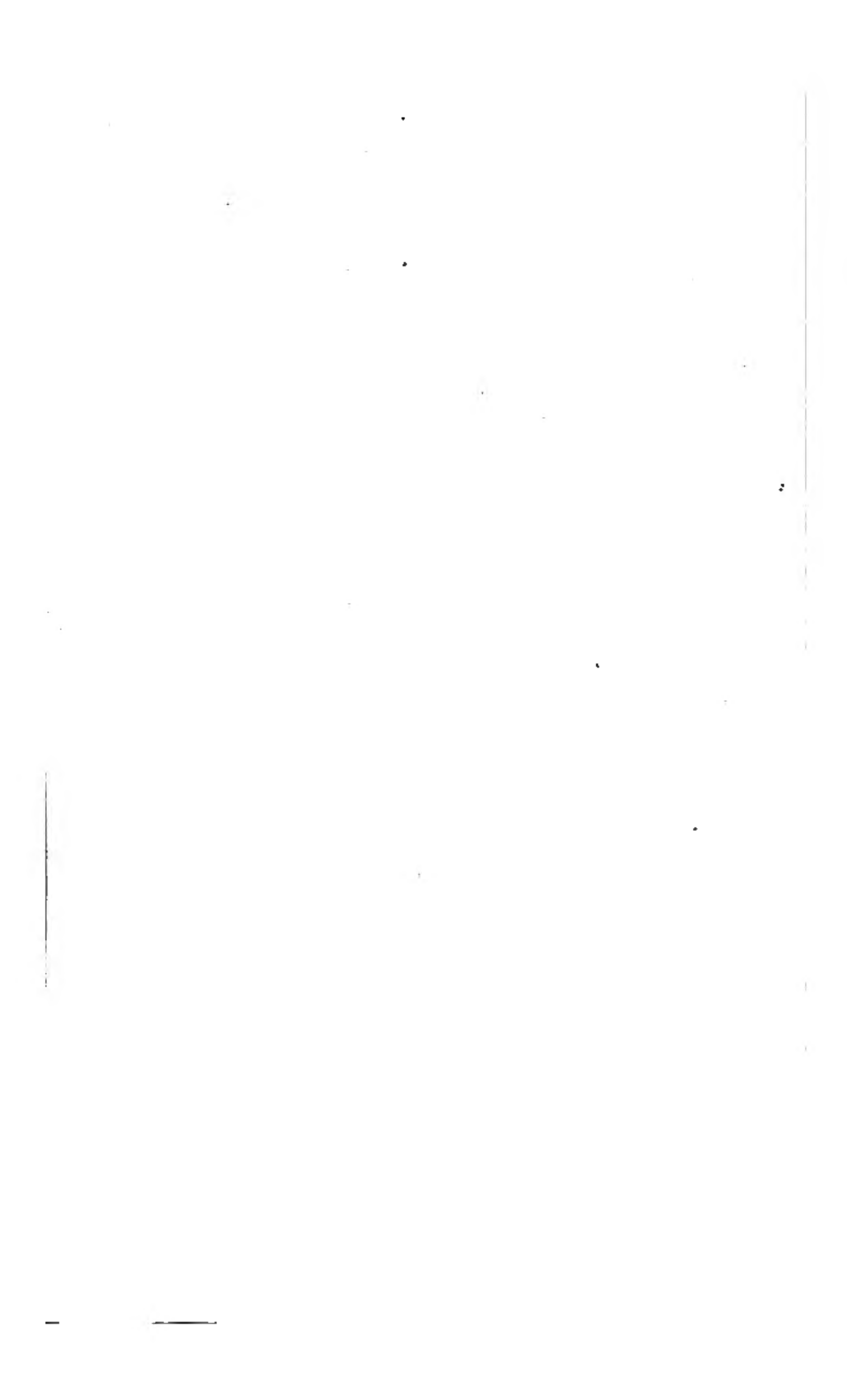


4/17 Nat. Storage

TN

2

A6



ANNALES
DES MINES.

COMMISSION DES ANNALES DES MINES.

LES ANNALES DES MINES sont publiées sous les auspices de l'administration générale des Ponts et Chaussées et des Mines, et sous la direction d'une commission spéciale formée par le Ministre des Travaux Publics. Cette commission est composée, ainsi qu'il suit, des membres du conseil général des mines, du directeur et des professeurs de l'École des mines, et d'un ingénieur, adjoint au membre remplissant les fonctions de secrétaire :

MM.

ÉLIE DE BRAUMONT, sénateur, insp. général de 1^{re} cl., membre de l'Acad. des Sciences, professeur de géologie au Collège de France et à l'École des mines, *président*.

DE BOUREVILLE, conseiller d'État, inspecteur général de 1^{re} cl., secrétaire général du ministère de l'agriculture, du commerce et des travaux publics.

THIRIA, inspecteur général de 1^{re} cl.

COMBES, inspecteur général de 1^{re} cl., membre de l'Académie des Sciences, directeur de l'École des mines.

LEVALLOIS, inspecteur général de 1^{re} cl.

DE BILLY, inspecteur général de 2^e cl.

BLAVIER, inspecteur général de 2^e cl.

DROUOT, inspecteur général de 2^e cl.

PIÉHARD, inspecteur général de 2^e cl.

VERE, inspecteur général de 2^e cl.

DE HENNEZEL, inspecteur général de 2^e classe.

MM.

GRUNER, ingénieur en chef de 1^{re} cl., professeur de métallurgie.

DAUBAT, ingénieur en chef de 1^{re} cl., membre de l'Académie des Sciences, professeur de minéralogie.

CALLON, ingénieur en chef de 1^{re} cl., professeur d'exploitation.

RIVOT, ingénieur en chef de 2^e cl., professeur de doctriaste.

BAYLE, ingénieur en chef de 2^e cl., professeur à l'École des mines.

DE CHERPPE, ancien chef de la division des mines.

LAMÉ-FLEURY, ingénieur ordinaire de 1^{re} cl., professeur de droit des mines.

COCHER, ingénieur en chef de 1^{re} cl., professeur de construction et de chemins de fer, *secrétaire de la commission*.

DELESSE, ingénieur en chef de 2^e cl., maître de conférence à l'École normale, *secrétaire adjoint*.

L'administration a réservé un certain nombre d'exemplaires des ANNALES DES MINES pour être envoyés, soit à titre de don aux principaux établissements nationaux et étrangers, consacrés aux sciences et à l'art des mines, soit à titre d'échange aux rédacteurs des ouvrages périodiques français et étrangers, relatifs aux sciences et aux arts. — Les lettres et documents concernant les ANNALES DES MINES doivent être adressés, sous le couvert de M. le Ministre de l'Agriculture, du Commerce et des Travaux Publics, à M. l'ingénieur en chef, secrétaire de la commission des ANNALES DES MINES, rue Bonaparte, n° 1, à Paris.

Avis de l'Éditeur.

Les auteurs reçoivent *gratuit* 15 exemplaires de leurs articles formant au moins une feuille d'impression. Ils peuvent faire faire des tirages à part à raison de 9 fr. par feuille jusqu'à 50, 10 fr. de 50 à 100, et 5 fr. pour chaque centaine ou fraction de centaine à partir de la seconde. Le tirage à part des planches est payé sur mémoire, au prix de revient.

La publication des ANNALES DES MINES a lieu par cahiers ou livraisons qui paraissent tous les deux mois. — Les six livraisons annuelles forment trois volumes, dont un consacré aux actes administratifs et à la jurisprudence. — Les deux volumes consacrés aux matières scientifiques et techniques contiennent de 70 à 80 feuilles d'impression, et de 18 à 24 planches gravées. — Le prix de la souscription est de 20 fr. par an pour Paris, de 24 fr. pour les départements, et de 28 fr. pour l'étranger.

ANNALES
DES MINES

—
II
—

RECUEIL
DE MÉMOIRES SUR L'APPLICATION DES MINES

ET SUR LES MÉTIERS ET LES ARTS QUI S'Y RATTACHENT.

MÉMORIE

PAR LES INGÉNIEURS DES MINES

ET PARCOURUS

SOUS L'AUTORISATION DU MINISTRE DES TRAVAUX PUBLICS.

—
SIXIÈME SÉRIE.
—

—
MÉMOIRES — TOME VII.
—

PARIS.

LEVIN, ÉDITEUR.

BOULEVARD N° 100.

PRÉFÉRENCIÈMENT CHEZ LES LIBRAIRES ET LES DÉPÔTÉS.

LIBRAIRIE DES CHAMPS ÉLYSÉES, DES BAINS ET DES CARRIÈRES ET DES BAINS

Quai des Augustins, n° 20

—
1865
—



ANNALES DES MINES.

MÉMOIRE

SUR LE GISEMENT SALIN DE STASSFURT-ANHALT.

Par M. EDMOND FUCHS, ingénieur des mines.

INTRODUCTION.

L'intérêt puissant que la science, et plus encore l'agriculture et l'industrie, attachent à l'existence des sources de potasse, explique la sensation que produisit, il y a quelques années, la découverte d'une puissante formation de sels de cet alcali à la partie supérieure d'un vaste gisement salin situé aux environs de Magdebourg, entre Stassfurt, en Prusse, et Anhalt, dans le petit duché contigu d'Anhalt-Bäremberg.

Depuis lors, des chimistes et des ingénieurs de toutes nations ont tour à tour visité ce petit point jusqu'alors inconnu de l'Allemagne, devenu en peu d'années le centre d'une activité industrielle dont l'influence s'étend aujourd'hui sur l'Europe entière.

Dès le mois de mars 1863, la direction des salines de l'Est résolut de faire étudier les circonstances géologiques du bassin de Stassfurt et les conditions techniques et économiques de son exploitation industrielle, dans le but d'appliquer, s'il y avait lieu, les résultats de cette étude aux gisements français. Elle voulut bien me confier cette mis-

sion, et je rédigeai le présent mémoire dans le courant d'avril de la même année.

Depuis cette époque plusieurs importantes publications ont été faites sur le même sujet, et j'ai dû, pour rester à la hauteur des notices allemandes, compléter mon travail par quelques renseignements tirés du mémoire de M. le docteur Reichardt et de l'excellent travail de M. Bischof, le directeur actuel de la saline prussienne. Je dois également remercier MM. Oehlmer et Von Derschau, directeur et ingénieur de la mine à l'époque de ma visite, pour les facilités qu'ils m'ont accordées pendant mon séjour à Stassfurt; M. Grüneberg, pour les renseignements qu'il a bien voulu me communiquer sur la marche de son usine, et mon collègue M. Nivoit, pour l'obligeance avec laquelle il a mis à ma disposition les notes de son récent voyage au gisement salin.

CHAPITRE PREMIER.

CONSTITUTION GÉOLOGIQUE ET MINÉRALOGIQUE DU GISEMENT.

I. — *Situation et limites du bassin.*

La formation saline, à laquelle se rattachent les couches de Stassfurt-Anhalt, est située à la partie inférieure d'un vaste dépôt de trias, s'étendant au sud et à l'ouest de Magdebourg.

Ce dépôt est partagé par le Hartz en deux bassins principaux : celui de la Thuringe, où l'on trouve surtout les marnes irisées et le muschelkalk, et celui de Magdebourg-Halberstadt dont nous avons à nous occuper plus spécialement, et qui est formé principalement de grès à grains fins, de calcaires et de schistes bitumineux, regardés par la plupart des géologues comme les équivalents du grès bigarré.

Les couches de Stanford-Anhalt sont à la base de ces derniers, et forment ainsi les assises inférieures de la formation triasique.

Quelques géologues pourtant n'adoptent point cette manière de voir, et pensent, au contraire, que les grès imprégnés de bitume, recouvrant le grès noir, au milieu desquels on trouve un calcaire ocellé, que épaisément bitumineux *rognonien*, doivent être rattachés à la formation permienne, et qu'ils sont assimilables aux assises argilo-schisteuses, superposés au rognonien par l'Écoumène, et considérés comme l'équivalent du grès noir l'écoumène.

Cette discussion, d'ailleurs, n'a qu'un intérêt tout à fait secondaire, la limite du trias et du terrain permien étant, dans presque tout le nord de l'Allemagne, soumise à une question théorique, et les deux formations reposant, en général, l'une sur l'autre sans discordance de stratification.

Quoi qu'il en soit, les Limites de bassin de Magdebourg-Halberstadt, jusqu'à la formation de Stanford-Anhalt, peuvent être définies comme il suit :

Au sud, le rognonien proprement dit, qui affleure aux environs de Walbeck : vers l'ouest, jusqu'à l'Écoumène et de là au nord-ouest, jusqu'aux environs de Magdebourg, la grauwaacke; du nord-ouest au nord-est, entre Magdebourg et Schönheim, la vallée de l'Elbe; enfin, vers le nord, la rhyolite porphyrique à quelques kilomètres de Magdebourg.

Cette dernière paraît avoir toute la forme de la formation qu'il affecte actuellement car, en descendant la ligne d'affleurement, on retrouve, vers Halberstadt, Wittenberg et Magdebourg, les assises permienues avec un développement un peu de celui qu'elles affectent dans le bassin même.

Vers le milieu du plus grand diamètre de la surface, vraisemblablement elliptique, formée par ces divers affleurements, c'est-à-dire vers le centre du bassin même, les couches ont subi un relèvement considérable et ont été soulevées d'un gelin, au point où l'on pourrait supposer les formations à

ciennes recouvertes d'une épaisseur maximum de terrain tertiaire, on retrouve les affleurements du grès bigarré et même du gypse sous-jacent.

Outre ce relèvement principal, le bassin paraît présenter plusieurs ondulations accidentelles, mais la présence des formations modernes rend en général leur observation directe difficile, sinon impossible; nous verrons dans un instant que les travaux de la mine ont permis de constater l'existence de l'une d'elles entre Stassfurt et Anhalt-Bäremberg.

La présence de nombreuses sources salées et les affleurements de gypse et d'anhydrite, qui occupent ordinairement la partie inférieure des dépôts de sel gemme, avaient depuis longtemps révélé l'existence de grandes formations salines dans cette partie du Nord de l'Allemagne; les nombreux sondages, exécutés depuis quarante ans environ, ont confirmé, en les précisant, ces inductions théoriques, et montré que le sel forme plusieurs couches distinctes et se rencontre à plusieurs niveaux géologiques. Dans le bassin de la Thuringe, on le trouve dans le zechstein et le muschelkalk (Artern et Erfurt); dans celui de Magdebourg, il est à la base du grès bigarré, où son allure et sa puissance sont encore peu connues, et où il forme au moins deux gisements distincts, comme le montrent les résultats différents obtenus dans les travaux de Schöningen, Schönebeck, Stassfurt et Anhalt.

Toutes ces considérations sont résumées dans la coupe (fig. 1 de la Pl. I) due à M. Bischof, et qui représente la section nord-sud de l'ensemble du bassin.

II. — Travaux de recherche.

Les travaux de recherche commencèrent à Stassfurt en 1839; ils avaient pour but d'atteindre une couche de sel, exploitée par voie de dissolution à Schönebeck, et dont la

soole, prise aux sondages 1, 2 et 3, fig. 2, et analysée par M. Steinbeck, présente la composition suivante :

	Sondage 1.	Sondage 2.	Sondage 3.
Chlorure de sodium	22,22	22,37	24,22
Chlorure de potassium	1,71	1,82	1,82
Chlorure de magnésium	1,04	1,47	1,54
Sulfate de magnésium	1,17	1,28	1,24
Sulfate de chaux	1,88	1,34	1,28
Eau	72,88	71,82	72,98
	100,00	100,00	100,00

L'existence d'une source saïse voisine de Stamford permettait d'espérer que la couche de sel se prolongerait jusqu'à ce dernier point situé à 17 kilomètres seulement au sud des exploitations, et l'on entreprit un sondage pour vérifier l'exactitude de cette supposition.

Voici quels furent les résultats de ce travail :

Sondage de Stamford.

	Mètres.	
0 — 26	Argiles et calcaire rouges.	
26 — 170	Argiles rouges micacées.	
170 — 172	Calcaire gris avec calcaire blanc * spumose.	
172 — 307	Argiles rouges avec gris et calcaires rouges.	
307 — 515	Grès rouge et calcaire gris.	
515 — 565	Grès rouge.	
565 — 570	Argile rouge.	
570 — 607	Grès rougeâtre.	
607 — 625	Argiles blanches imprégnées de sel jaune.	
625 — 651	Calcaire gris.	
651 — 665	Argile blanche.	
665 — 510	Grès rouges avec sels de soude.	
510 — 584	Argiles rouges micacées avec traces de gypse.	
584 — 592	Gypse blanc (romanois).	
592 — 650	Grès rouge avec traces de gypse et grès compact.	
650 — 789	Argile grise rayonnée grise et gypse.	
789 — 820	Argiles grises imprégnées de sel et de gypse.	
820 — 1.024	Sels de potasse, de soude et de magnésie.	

(*) Nouvelle preuve de la similitude des formations paraïennes et triasique.

Les résultats de la dernière période du sondage, qui annonçaient la présence des sels de potasse, ne furent point accueillis comme ils le seraient aujourd'hui dans des circonstances analogues. Ils révélaient, en effet, un gisement dont la nature était différente de celui de Schönebeck, et qui ne répondait pas aux espérances qu'on avait fondées sur lui. Bien plus, on a été plusieurs fois sur le point de renoncer au fonçage, en voyant la proportion de sel, contenue dans l'eau saturée (soole) sortant du trou de sonde, diminuer à mesure que l'on s'enfonçait. Les eaux retirées vers la fin du travail ne renfermaient plus, en effet, que 16 p. 100 d'un sel présentant la composition suivante :

Chlorure de sodium.	17,15
Chlorure de potassium.	7,10
Chlorure de magnésium.	62,84
Sulfate de magnésium.	12,80
	<hr/>
	100,00

Mais comme, d'autre part, les carottes de sondage provenant de la partie inférieure étaient bien du chlorure de sodium sans mélange, on en conclut que la couche de sels impurs n'occupait que la partie supérieure du gisement, et l'on se décida à commencer le fonçage des puits.

A la même époque à peu près, on faisait un sondage voisin du précédent à Anhalt-Bäremberg, qui donnait, dans l'ensemble, des résultats analogues à ceux obtenus à Stassfurt; les principales différences consistaient, d'après la coupe qu'en donne M. le docteur Reichardt :

1° Dans l'absence de la formation du grès bigarré, et la présence du gypse immédiatement au-dessous des terrains modernes;

2° Dans le relèvement notable de la formation saline;

3° Dans l'existence, au-dessus de la couche correspondante à celle de Stassfurt, et entre deux assises d'argiles salifères, d'une deuxième formation saline beaucoup moins puissante,

mais présentant les mêmes alternances de sel gemme et de sels déliquescents.

Cette couche, si le relevé du sondage est exact, ne possède d'ailleurs que de faibles dimensions, ou se compose de lambeaux interrompus, car elle ne paraît pas avoir été retrouvée dans les travaux ultérieurs.

Le fonçage de deux puits, Manteuffel P' et Von der Heydt P (fig. 4) à Stassfurt (1853-1857), puis celui de deux autres à Anhalt, dissipèrent toutes les incertitudes qui pouvaient encore exister sur la constitution du gisement salin, et révélèrent l'existence d'une couche de sels de potasse, destinée à devenir l'objet principal de l'exploitation future. Nous donnons ici la coupe de l'un des puits d'Anhalt et celle du puits Manteuffel à Stassfurt. Le deuxième puits d'Anhalt a donné des résultats identiques au premier, et le puits Von der Heydt ne diffère de celui de Manteuffel que par quelques variations de puissance tout à fait insignifiantes, et une petite irrégularité dans la forme de la couche d'argile qui sépare les deux assises de gypse et d'anhydrite.

	PUITS MANTEUFFEL.		PUITS D'ANHALT.	
	Puissance.	Profondeur.	Puissance.	Profondeur.
Alluvions. — Diluvium.	9 ^m	9 ^m	7 ^m	7 ^m
Grès bigarré, représenté par des alternances de grès rougeâtres, gris et bleuâtres, d'argiles et schistes argileux, de rogenstein et de calcaire compacte gris (<i>Kornkalk</i>). L'inclinaison varie de 28° à 42°, le minimum correspondant aux calcaires, le maximum aux argiles.	108	202	"	"
Couche irrégulière de schistes argileux rougeâtres avec filets de gypse fibreux, puis anhydrite et gypse fibreux massif (<i>francois</i>) avec de petites veines argileuses à la partie inférieure	51	253	124	131
Argiles grises bitumineuses imprégnées de chlorure de sodium, de chlorure de potassium et de gypse.	7	272	29	160
Sels de potasse, de soude et de magnésie	32	324	47	207
Sel gemme (non traversé).	30	354	27	234

Il était donc bien démontré qu'il existait, à Stassfurt et à Anhalt, une formation saline différente de celle qui avait été le but primitif des travaux, située tout à fait à la base du grès bigarré, au-dessous du rogenkalk, et occupant par suite un niveau géologique inférieur à celui de la couche cherchée; elle peut, par conséquent, se trouver au-dessous de cette dernière à Schönebeck.

Sa direction est nord $7^{\circ} 30'$ ouest; son inclinaison varie de 25 à 37 degrés environ à Stassfurt, et atteint 40 et même 44 degrés à Anhalt. Mais entre ces deux points il doit y avoir une région où cette inclinaison diminue, et peut-être même disparaît entièrement. En effet, les deux mines sont distantes l'une de l'autre de $1,410$ mètres environ, et la ligne qui les joint fait un angle de $22^{\circ} 30'$ vers l'ouest avec la direction de la couche (fig. 2); les puits d'Anhalt sont donc en retrait de ceux de Stassfurt dans le sens de l'inclinaison de la couche de $1,240^m \times \sin. 22^{\circ} 30'$, soit de 475 mètres. Or, si dans toute la zone comprise entre les deux mines, les couches conservaient une pente moyenne de 30 degrés seulement, le relèvement qui en résulterait à Anhalt serait de $475^m \times \sin. 30^{\circ}$, soit de $237^m, 50$; les couches de sel seraient donc à 100 mètres seulement de la surface et affleueraient à une distance de 200 mètres environ de ce dernier point. Or la formation d'anhydrite seule arrive au jour à Anhalt, et le sel s'y trouve encore à une profondeur supérieure à 200 mètres, ce qui nécessite entre ce point et Stassfurt, soit une faille, soit une ondulation dans la direction des couches. La première hypothèse est peu en harmonie avec la constitution du reste du bassin, où l'on n'a point eu jusqu'à présent l'occasion d'observer l'existence de lignes de fracture avec surfaces de gisement. Les petits plissements, si fréquents à l'intérieur de la mine, prouvent, au contraire, que le gisement salin présente une plasticité comparable à celle des schistes, et que les soulèvements ultérieurs y ont produit non des failles, mais des ondu-

tions d'ensemble et des repliements de détail. L'observation directe d'une pente de 20 degrés seulement, à l'est de Stassfurt, a confirmé cette manière de voir, et nous l'avons résumée dans la coupe théorique représentée par la fig. 3

Il nous reste un mot à dire sur l'étendue de la formation saline. En ne considérant que la portion du bassin située au sud du relèvement d'Egeln, qui présente de fréquents affleurements d'anhydrite, de tous les points de laquelle s'échappent des sources salées, et sous laquelle nous pouvons, par suite, supposer une couche à peu près continue de sel, nous arrivons à une superficie horizontale qui n'a pas moins de 450 kilomètres carrés. Mais ce chiffre ne donne qu'une indication d'une valeur toute secondaire pour le gisement de potasse.

Il est probable, en effet, que la plupart des sources connues proviennent du prolongement de la couche de Schönebeck, qui occupe, comme on sait, un niveau géologique plus élevé, et qui manque à Stassfurt, soit à cause de sa discontinuité, soit plutôt par suite du relèvement général du terrain.

La formation saline, surmontée des sels déliquescents, paraît donc avoir des limites différentes de celles du bassin sud, et nous sommes aussi porté à croire qu'elle représente un phénomène local beaucoup plus restreint que ce dernier; mais il n'est pas impossible non plus, qu'elle se prolonge à de grandes distances, et se retrouve au-dessous de la couche de Schönebeck, qui aurait alors pour représentants à Stassfurt le gypse et l'anhydrite superposés aux argiles salifères. Quoi qu'il en soit de ces appréciations théoriques, la seule petite portion voisine de Stassfurt-Anhalt suffit pour assurer à l'exploitation des sels de potasse un avenir que l'on peut considérer, industriellement, comme illimité.

CHAPITRE II.

ÉTUDE DÉTAILLÉE DU GISEMENT SALIN.

I. — Description des éléments qui le composent.

Ainsi que nous venons de le voir, on arrêta le fonçage à Stassfurt en plein sel gemme, à une profondeur de 350 mètres à peu près, et, après avoir réuni les puits par quatre galeries de niveau équidistantes, qui servent aujourd'hui de paliers pour les réservoirs de l'épuisement, on commença une galerie à travers banc, à 2 mètres environ au-dessus du fonds du puits Von der Heydt.

La portion de cette galerie dirigée vers le nord est restée constamment dans le sel gemme, sans que, sur toute la longueur du parcours, ce dernier ait sensiblement changé d'aspect ou de composition; la branche sud, au contraire, allant vers le toit, a rencontré ce dernier à 150 mètres du puits Manteuffel, après avoir recoupé, dans un ordre inverse de celui du fonçage, la série des sels qui constituent le gisement.

Ces derniers se réduisent à peu près à six substances principales, savoir : du sel gemme avec des filets minces et réguliers d'anhydrite; un chlorure de sodium impur, légèrement magnésien et déliquescent, alternant avec la *Polyhalite*, sulfate multiple de potasse de chaux et de magnésie; un sulfate de magnésie nommé *Kieserite*; un chlorure double de potassium et de magnésium appelé *Carnallite*, un chlorure double de calcium et de magnésium nommé *Tachydrile*; enfin une variété de boracite, désignée sous le nom de *Stassfurtite*; il faut y ajouter quelques substances jouant un rôle tout à fait secondaire, telles que la *Sylvine* (chlorure de potassium) et des traces de brome, de cæsium et de rubidium.

Nous allons exposer succinctement le résultat des principales études dont ces corps ont été l'objet.

A. — *Sel gemme et anhydrite.*

Le sel gemme est de beaucoup l'élément le plus important du gisement de Stassfurt; les galeries à travers banc l'ont recoupé sur une épaisseur correspondant à une puissance normale supérieure à 150 mètres, sans que rien ait fait soupçonner le voisinage du mur de la couche, ou fourni des indices permettant d'évaluer, même approximativement, sa position et sa distance.

Dans toute la portion explorée, le sel présente une grande homogénéité d'aspect et de composition. À part quelques colorations accidentelles et toutes locales, dues à des matières bitumineuses, ou à des traces d'oxyde de fer, il est presque entièrement incolore, généralement transparent et d'un blanc de neige après pulvérisation. Il se trouve rarement en cristaux isolés bien nets, mais il présente dans son ensemble une texture franchement cristalline, et est facilement clivable en petit, suivant les faces du cube. En grand, cette dernière propriété, qui serait très-précieuse pour l'abatage, disparaît complètement, et il en est de même des indices de stratification, dont l'extrême régularité n'est accusée que par les filets minces de matières étrangères et spécialement d'anhydrite sur lesquels nous reviendrons dans un instant.

La densité du sel compacte est 2,16, celle du sel cristallin 2,20; sa composition est indiquée par les analyses suivantes, faites par MM. Rammelsberg (a) Rendemann et Scholz (b, c, d).

	a	b	c	d
Chlorure de sodium. . . .	97,55	98,73	98,42	98,72
Chlorure de magnésium. .	"	tr.	0,24	
Chlorure de potassium. . .	"	tr.	tr.	
Chlorure de calcium. . . .	"	tr.	0,53	
Sulfate de potasse.	1,01	"	"	
Sulfate de soude.	0,43	"	"	
Sulfate de magnésie. . . .	0,23	"	"	
Sulfate de chaux.	0,42	0,27	0,99	
	<hr/> 99,70	<hr/> 99,00	<hr/> 100,18	

Ces analyses montrent l'extrême pureté de ce sel ; malgré cela, il est impropre aux usages domestiques, parce qu'il est recoupé par de petites veines d'anhydrite, que l'on a séparées pour l'analyse, mais dont on ne peut se débarrasser industriellement dans l'exploitation.

Ces veines, dont l'épaisseur atteint 7 millimètres au plus, jouent un rôle considérable dans le massif de sel gemme ; intercalées régulièrement dans ce dernier, elles en dessinent, ainsi que nous l'avons déjà dit, les surfaces de stratification, et le découpent en bandes ayant 3 à 16 (en moyenne 9) centimètres d'épaisseur normale.

La surface supérieure de ces veines est lisse et unie, leur surface inférieure, au contraire, inégale et rugueuse, et il s'en sépare même de petits rameaux qui traversent irrégulièrement le sel gemme sous-jacent.

Elles sont constituées par de petits cristaux de sulfate de chaux anhydre, cimentés par du chlorure de sodium, que l'on peut en séparer par dissolution dans l'alcool étendu. L'anhydrite spongieuse qui reste, forme, d'après M. Bischof, en moyenne, les 44 centièmes du poids total.

En calculant, d'après cela, la proportion de ce corps renfermé dans le massif salin, on trouve un peu moins de 5 p. 100, résultat vérifié par la composition moyenne du sel gemme avant le triage.

Ces cordons d'anhydrite se retrouvent avec les mêmes caractères, sauf une régularité moindre, et une plus grande pauvreté en sel, dans le bassin d'Erfurt ; ils ont été remarqués depuis longtemps par les ouvriers, qui leur ont donné le nom de *Jahrringe* (anneaux d'années), dénomination expressive, impliquant une hypothèse géogénique sur laquelle nous reviendrons plus tard.

Enfin mentionnons encore dans le sel gemme la présence de petites bulles, visibles à l'œil nu, d'un gaz qui paraît également remplir les fissures et les cavités accidentelles des couches, et qui se trouve surtout dans les sels déli-

quescents, à la partie supérieure du gisement. Analysé par M. Bischof, ce gaz a présenté en volume la composition suivante :

Hydrogène carboné.	85
Acide carbonique	2
Air atmosphérique.	13
	<hr/>
	100

Sa présence, comme celle de l'anhydrite, est d'une grande importance pour l'étude de la formation du bassin.

B. — *Sel gemme impur. — Polyhalite.*

Le sel gemme impur n'est pas un composé défini; il ne diffère du chlorure de sodium, auquel il passe par transitions insensibles, que par la présence d'un peu de chlorure de magnésium, substitué moléculairement au chlorure de sodium, et dont la proportion croît, en allant vers le toit, de 0,40 à 3,20 pour 100. Ses caractères distinctifs sont : une saveur amère et une légère déliquescence dues au sel de magnésie et croissant avec lui, un éclat gras, parfois un peu nacré; enfin une transparence et une cristallinité moindres que celles du sel gemme pur. Comme dans ce dernier, la stratification y est d'abord indiquée par de petites couches d'anhydrite de 2,5 à 3 centimètres de puissance moyenne; mais, à mesure qu'on s'élève dans le gisement, le sulfate de chaux simple est accompagné, puis remplacé avec les mêmes particularités de structure, par un composé plus complexe, la *polyhalite*, sulfate multiple de chaux, de potasse et de magnésie.

Ce sel, ayant une densité de 2,70, un éclat mat et une couleur gris clair, présente la composition suivante :

Sulfate de chaux.	42,64
Sulfate de magnésie.	19,78
Sulfate de potasse	27,90
Eau.	5,75
Chlorure de sodium (accidental). . .	3,49
	<hr/>
	99,54

Ces chiffres correspondent à la formule connue de la polyhalite cristallisée :



Réunie à l'anhydrite, la polyhalite représente à peu près 7,30 pour 100 de la masse totale du sel impur qui ne renferme alors, en moyenne, que 91-92 pour 100 de chlorure de sodium.

Dans cet état, le sel ne peut plus être consommé même par les animaux, et devient également impropre à la fabrication de la soude artificielle. Aussi n'est-il l'objet d'aucune exploitation dans la mine, et utilise-t-on pour remblais les faibles quantités de cette substance abattues par le percement des galeries de roulage.

C. — *Kieserite*.

La *Kieserite* (sulfate de magnésie mono-hydraté) est une substance amorphe, d'un blanc grisâtre, demi-transparente, qui se trouble et s'altère promptement à l'air, en se transformant partiellement en carbonate. Elle est toujours mélangée dans le gisement à une petite proportion de chlorure de magnésium, qui lui communique une déliquescence qu'elle ne possède pas à l'état de pureté.

Mise en présence de l'eau, elle s'hydrate, puis se dissout lentement (après agitation prolongée pendant plusieurs jours) dans la proportion de 40,9 de sel pour 100 parties d'eau à 18 degrés 3/4.

Entièrement débarrassée des chlorures imprégnants et de l'eau que ces derniers tendent toujours à absorber, elle a pour composition, d'après M. Bischof :

		Oxygène.
Acide sulfurique.	58,07	34,43
Oxyde de magnésium. . .	20,03	11,61
Eau.	12,90	11,61
	<hr/>	
	100,00	

Ces chiffres correspondent à la formule



La Kieserite forme, dans les parties supérieures du gisement, de petites couches continues et régulièrement stratifiées, mais en général plus épaisses (3 à 35 centimètres), et moins symétriquement intercalées que les cordons d'anhydrite et de polyhalite.

Elle était jusqu'à ces derniers temps sans emploi, et doit toujours être séparée des sels de potasse, d'abord approximativement par un triage à la main soigné dans l'intérieur de la mine, ensuite d'une manière plus complète à l'usine, par voie de dissolution.

D. — Carnallite. — Sylvine.

La Carnallite (chlorure double de potassium et de magnésium) est, après le sel gemme, l'élément le plus abondant de la formation saline; sa richesse en potassium en fait la substance essentielle du gisement, celle qui a reçu jusqu'à ce jour les plus nombreuses et les plus importantes applications industrielles.

Elle a été étudiée et analysée, pour la première fois, par M. Henri Rose, qui en signala aussitôt l'importance, et fit apprécier ainsi à sa véritable valeur le gisement, si peu estimé jusqu'alors, des sels déliquescents.

Trois échantillons de sel pur, dont deux (a et b), de couleur rouge, et un troisième (c), d'un gris pâle presque transparent, lui donnèrent :

	a	b	c
Chlorure de potassium.....	24,27	24,27	27,43
Chlorure de calcium.....	2,62	3,01	"
Chlorure de sodium.....	5,10	4,55	0,23
Chlorure de magnésium.....	31,40	30,51	35,03
Sulfate de chaux.....	0,84	1,16	1,14
Oxyde de fer.....	0,14	0,14	"
Eau et pertes.....	35,57	30,86	26,17
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Depuis lors la Carnallite a été l'objet de nombreuses études; nous mettrons en parallèle, avec les analyses précédentes, celles des substances que l'on obtient industriellement dans l'exploitation, savoir : *a*, le sel exceptionnellement riche provenant des couches épaisses de Carnallite, *b*, le sel de bonne qualité obtenu par triage à la main dans la mine.

	<i>a</i>	<i>b</i>
Chlorure de potassium.	21,80	19,73
Chlorure de sodium.	7,95	15,87
Chlorure de magnésium.	29,53	27,70
Sulfate de potasse.	10,20	10,10
Silicate de magnésie et d'alumine, sable et acide borique.	1,20	0,15
Carbonate de magnésie.	"	1,50
Eau et pertes.	29,82	25,15
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Enfin signalons l'analyse faite, pour obtenir la composition théorique du sel, par M. Reichardt, sur un échantillon très-pur, à peine coloré en rose pâle, et d'une transparence presque parfaite :

	Expérience.		Calcul.
Potassium.	9,458	Potassium équivalent.	13,441
Sodium (accidentel).	2,359		
Magnésium.	3,588		9,884
Chlore.	38,459		38,234
Eau et pertes.	41,136		33,814
	<hr/> 100,000		<hr/> 100,000

Ces chiffres correspondent à la formule



La Carnallite est donc un chlorure double de potassium et de magnésium hydraté, dans lequel une petite fraction du potassium peut être remplacée par du sodium.

Son aspect extérieur offre beaucoup d'analogies avec celui du sel gemme; comme ce dernier, elle est transparente et incolore à l'état de pureté parfaite, présente la texture grenue ou cristalline, et est entièrement et facilement soluble

dans l'eau ; elle s'en distingue tout d'abord par la forme cristalline, qui, d'après les observations faites par M. Des Cloiseaux (*) au microscope polarisant, doit être rattachée au système du prisme droit à base rhombe ; elle présente en outre un éclat un peu moins vitreux que le sel gemme, un clivage beaucoup moins net, une solubilité plus grande, et surtout une extrême déliquescence. Quelques minutes d'exposition à l'air suffisent pour en humecter la surface ; une heure ou deux pour en faire suinter une quantité notable de liquide. Mise en présence d'une quantité d'eau insuffisante pour la dissolution complète, elle se dédouble presque exactement en donnant les chlorures simples de potassium et de magnésium, dont le dernier seul se dissout.

La Carnallite est l'élément principal de la partie supérieure du gisement salin ; elle y forme, comme toutes les substances qui le composent, des assises d'épaisseur variable, parfaitement stratifiées, alternant avec des couches généralement moins puissantes de sel gemme et de kieserite.

Ces assises sont elles-mêmes subdivisées en petits lits réguliers, présentant des colorations diverses, mais toujours uniformes pour chacun d'eux : on en trouve quelquefois, mais rarement, qui sont presque entièrement incolores ; d'autres sont colorés en gris bleuâtre par un peu de matières bitumineuses, mais le plus grand nombre est teinté en rose, ou même en rouge assez intense, par de l'oxyde de fer. Ce dernier se trouve intercalé dans la masse, en écailles extrêmement minces, qui paraissent alignées suivant des surfaces planes, et donnent au sel un aspect irisé, comparable à celui de l'aventurine. Séparé par lavage, il présente, au microscope, la forme de petites tables rhombiques ou hexagonales, difficilement solubles à froid dans les acides, ayant une densité de 3,15 (Bischof) et

(*) Mémoire sur l'emploi du microscope polarisant. *Annales des mines*, 6^e série, tome VI, page 557.

une coloration qui varie du jaune brun au rouge vif. A cet état, il présente les plus grandes analogies d'aspect et de propriétés avec l'*Eisenrahm* que l'on trouve surtout dans les grauwackes du Hartz, et, par suite, est probablement comme ce dernier, une variété de fer oligiste, c'est-à-dire de l'oxyde anhydre (*).

Comme produit accessoire intercalé dans la Carnallite, citons encore la *sylvine*, chlorure de potassium pur, qui se trouve surtout à Anhalt, où il forme des rognons dont le poids atteint quelquefois 3 kilogrammes.

Cette substance n'était guère connue jusqu'ici que comme produit volcanique au Vésuve, et comme rareté minéralogique dans les mines du Salzkammergut; elle paraît avoir été produite, en grande partie, postérieurement à la formation du bassin.

On observe, en effet, que, chaque fois qu'on abandonne longtemps à l'air, soit dans la mine, soit surtout dans les usines, une quantité notable de Carnallite, il y a absorption de l'humidité atmosphérique par le sel déliquescent, dédoublement de ce dernier, dissolution incessante de chlorure de magnésium dans la petite quantité d'eau condensée, enrichissement croissant de la partie supérieure en sel de potasse, et finalement production de sylvine.

Ces réactions expliquent la fréquence plus grande de la

(*) L'expérience suivante ne nous permet pas de nous prononcer d'une manière absolue sur cette absence d'eau : en dissolvant 500 grammes environ de Carnallite rouge, nous avons obtenu 1 gramme à peu près d'oxyde de fer, mélangé à 30 p. 100 de matières étrangères, sable, argile, etc., et à une très-faible proportion de substances hydrocarbonées. Après enlèvement de ces dernières par lavage à l'éther et dessiccation à 100 degrés, nous avons constaté, par calcination, une perte de 9,25 p. 100.

Or, à moins de considérer, ce qui n'est pas impossible, cette dernière comme due entièrement à la déshydratation des impuretés et à la volatilisation des hydrocarbures non dissous par l'éther, l'oxyde de fer aurait primitivement renfermé un peu d'eau et serait, par suite, un mélange de goëthite, Fe^2O^3 , HO, et de fer oligiste.

sylvine dans la mine d'Anhalt, et, en général la richesse supérieure de cette dernière en chlorure de potassium. Elle est située, en effet, à un niveau topographique beaucoup plus élevé que celle de Stassfurt, où, par contre, la magnésie se trouve en plus forte proportion.

A l'appui de ces considérations, nous mentionnerons l'analyse d'une eau d'infiltration d'un débit faible, mais constant, que l'on a rencontrée dans la galerie qui longe le toit de la formation saline, et qui a évidemment pour effet de transporter le magnésium, parallèlement à la stratification, vers les points où les sels déliquescents se rencontrent à une plus grande profondeur.

Sulfate de chaux.	1,517	»
Sulfate de magnésie.	0,031	»
Sulfate de soude.	»	0,06
Chlorure de potassium.	0,427	»
Chlorure de sodium.	1,031	2,47
Chlorure de magnésium.	26,270	32,50
Bromure de magnésium.	0,131	0,01
Eau et pertes	69,323	64,93
	<hr/> 100,000	<hr/> 100,00

E. — *Tachydrile*.

La *tachydrile* (chlorure double de calcium et de magnésium) est un corps d'une déliquescence extrême, dont la couleur varie du jaune de cire au jaune de miel, et qui, bien que toujours amorphe, présente deux faces de clivage assez nettes.

C'est la plus soluble de toutes les substances qui composent le gisement, et 100 parties d'eau suffisent pour en dissoudre 160 de sel à $18^{\circ} \frac{3}{4}$. Cette dissolution semble accompagnée d'une combinaison partielle des deux éléments, car, même en présence de quatre fois son poids d'eau, la tachydrile donne une élévation de température de $7^{\circ} \frac{1}{4}$; la sylvine, la Carnallite et le sel gemme développent, dans les mêmes circonstances, des abaissements de température respectifs de $11^{\circ} \frac{1}{2}$, $1^{\circ} \frac{3}{4}$ et 2 degrés.

La tachydrite se présente sous forme de petites veines minces et rares intercalées dans la Carnallite et la kieserite, à la partie supérieure du gisement, et spécialement à une distance de 10-15 mètres du toit.

Analysée par M. Rammelsberg, elle a donné

	Observé.	Calculé.
Calcium	7,46	7,79
Magnésium.	9,51	9,29
Chlore.	40,34	41,18
Eau et pertes.	42,89	41,76
	<hr/> 100,00	<hr/> 100,00

Ces chiffres répondent à la formule



et montrent que la tachydrite est un sel entièrement analogue à la Carnallite, dont elle ne diffère que par la substitution du calcium au potassium. C'est, jusqu'ici, une curiosité minéralogique.

F. — *Stassfurtite*.

La *Stassfurtite*, sel double de borate de soude et de chlorure de magnésium, est une substance blanche présentant une cassure unie ou écailleuse, dont l'éclat, très-vif au sortir de la mine, se ternit promptement, et devient mat au contact de l'air, dont la dureté est comprise entre 4 et 5 et dont la densité varie de 2,91 (Reichardt) à 2,67 (Bischof). Elle paraît entièrement amorphe à l'œil nu, mais au microscope on voit qu'elle est formée par l'agglomération de petits cristaux prismatiques assez allongés. À l'état de pureté, elle est presque entièrement insoluble dans l'eau, mais la Carnallite à laquelle elle est mélangée, et surtout le chlorure de magnésium dont elle est imprégnée, dans une proportion de 5 à 15 pour 100 (le minimum correspondant à Anhalt, le maximum à Stassfurt), lui communiquent une déliquescence presque aussi

grande que celle de la tachydrite. Cette dernière circonstance apporte des difficultés très-grandes à son analyse, et est la cause de l'incertitude qui a longtemps régné sur sa formule véritable. Les premiers chimistes qui se sont occupés de son étude ont conclu que ce sel présentait une composition différente de celle de la boracite ordinaire, et M. Ludwig, par exemple, considérait le chlorure de magnésium hydraté que l'on y découvre, comme faisant tout entier partie intégrante de la substance; plus tard, M. Sievert et Heintz ont montré, qu'outre le chlorure combiné il y avait une forte proportion de chlorure mélangé que l'on pouvait enlever par lavage, et ont fait la séparation de telle sorte, qu'il restait une boracite hydratée; enfin M. Bischof est parvenu à obtenir, par des lavages prolongés et une dessiccation lente à 100 degrés, un sel anhydre, identique chimiquement à la boracite de Lünebourg.

Voici les analyses sur lesquelles ces chimistes ont basé leurs opinions respectives :

	Ludwig.	Heintz et Sievert.	Bischof.
Borate de magnésie.	82,34	87,61	89,39
Chlorure de magnésium. . . .	11,73	10,42	10,61
Eau.	5,93	1,97	"
	100,00	100,00	100,00

Ces chiffres correspondent aux trois formules :

MM. Ludwig.	5 (3MgO, 4 BoO ³ + HO) + 3 (MgCl + HO);
Heintz et Sievert.	2 (3MgO, 4 BoO ³) + MgCl + HO;
Bischof.	2 (3MgO, 4 BoO ³) + MgCl.

Le docteur Steinbeck vient de reprendre cette étude (*), et, par des analyses faites avec un soin extrême, il a montré que la Stassfurtite soumise à des lavages prolongés et à une dessiccation à 120 degrés renfermait encore 0,601 p. 100 d'eau, dont la plus grande partie (0,4795 p. 100) s'échappait à 250 degrés environ, et que de plus cette température était insuffisante pour décomposer le sel et lui faire changer d'aspect. Comme d'autre part, il faudrait que la Stassfur-

(*) *Annales de Poggendorff*, 1865, 5^e livraison.

tite renfermât 2 p. 100 d'eau environ pour avoir la formule que lui donne MM. Heintz et Sievert, M. Steinbeck pense clut que la petite quantité d'eau qu'elle retient encore après dessiccation provient des sels déliquescents interposés non enlevés par le lavage, et qu'il faut regarder, avec M. Bischof, la Stassfurtite comme un sel anhydre. C'est donc la formule



qui est la bonne, et M. Steinbeck en a conclu, comme M. Bischof, que la Stassfurtite était une variété dimorphe de la boracite; mais M. Des Cloizeaux a montré depuis que l'identité des deux substances était complète, et que les petits prismes de la première étaient sans action sur la lumière polarisée, et par suite, appartenaient, comme la seconde, au système cubique.

La Stassfurtite se présente, dans les parties supérieures du gisement, sous deux aspects bien distincts : tantôt elle forme de petites couches très-minces, régulièrement stratifiées, mais peu continues; tantôt, et bien plus souvent, elle affecte la forme de rognons ou de boules sensiblement sphériques ayant de 3 à 30 centimètres de diamètre. Ces boules sont rarement homogènes et massives; elles sont, au contraire, généralement creuses et remplies d'un noyau concentrique de Carnallite, qui lui-même est quelquefois découpé en petits segments par des feuillets minces et parallèles de boracite. Elles présentent alors dans leur cassure un aspect extrêmement pittoresque, dû autant à leur forme qu'au contraste entre le blanc vif de la Stassfurtite, et la nuance rosée avec transparence parfaite de la Carnallite.

Comme la tachydrile, la Stassfurtite est jusqu'à présent une curiosité minéralogique sans emploi. On compte cependant en tirer parti pour la fabrication du borax, et déjà plusieurs offres ont été faites dans ce sens à la direction des salines; mais le peu de régularité dans l'apparition de cette substance, et sa faible production annuelle dans la

mine (10 tonnes au plus) n'ont pas permis, jusqu'à présent, de donner suite à ces propositions.

Nous aurons à revenir plus tard sur le mode de formation de la Stassfurtite, dont la présence fournit un renseignement précieux sur l'origine du gisement salin tout entier.

II. — Groupement des divers sels dans le gisement.

Les différentes substances que nous venons de décrire forment, ainsi que nous l'avons fait observer plusieurs fois déjà, des couches stratifiées, parfaitement régulières dans leur forme, leur direction, leur puissance et leur composition, et dont les variations se réduisent à quelques changements accidentels dans les épaisseurs et à des plissements de détail embrassant 5 à 6 mètres au plus.

Elles se succèdent également dans un ordre déterminé, qui permet de les réunir en quatre groupes principaux, définis plutôt par leur allure moyenne que par leurs limites, et de diviser ainsi le gisement en quatre zones correspondantes :

Première zone. — Groupe du sel gemme pur.

La première zone comprend toute la formation du sel gemme pur, qui occupe la partie inférieure et de beaucoup la plus considérable du gisement. Elle ne renferme que du chlorure de sodium avec des filets minces et réguliers d'anhydrite, formant, comme nous l'avons vu, les 5 centièmes de la masse totale.

Sa puissance est encore inconnue, et la plus grande épaisseur normale traversée jusqu'ici (automne 1864), sans indice aucun de l'approche du mur, est de 150 mètres.

Deuxième zone. — Groupe du sel gemme magnésien.

La deuxième zone embrasse la formation du sel gemme magnésien (*unreines Steinsalz*), qui se distingue assez nettement du précédent, dès qu'il renferme 0,5 p. 100 de chlorure de magnésium. Il présente alors une déliquescence et

une saveur amère
fixent ainsi pratiqu
nettement tranchée

Les filets d'anhy
presque compléte
elle-même diminu
zone, pour faire pl

En prenant pour
se substitue à la pol
neur maximum en r
zone, à une puissa

D'après le docte
composent y sont g

Depuis la limite inférieure
(comptés parallèlement

<i>Id.</i>	de 40
<i>Id.</i>	de 30
<i>Id.</i>	de 12
<i>Id.</i>	de 16

En moye

Troisième

Cette zone, qui fi
les deux groupes e
sez complexe. A sa
peu de sel gemme
faire place à des v
gnésium étant conc
portance augment
nallite, d'abord n
constituer un comp

Carnallite.
Kieserite.
Anhydrite.

puis isolée, et form
paisseur vont rapi

cette zone, la Kieserite acquiert son importance maximum, et l'on en trouve, à 56 mètres du toit, une couche de 40 centimètres environ. Au delà de ce point, elle diminue de nouveau, et avec elle aussi le sel gemme dont elle est presque toujours entourée. Enfin, à la partie supérieure apparaît la Stassfurtite, d'abord en petites veines discontinues de 1 à 3 centimèt., puis en rognons sphériques généralement zonés.

La composition moyenne de ce groupe peut être définie approximativement de la manière suivante :

	Partie inférieure.	Partie supérieure.	Moyenne.
Carnallite et chlorure de magnésium.	5	45	16
Sel gemme.	83	36	63
Kieserite.	10	18	17
Anhydrite.	3	1	2
Stassfurtite.	"	0,3	0,1

A la partie supérieure, cette zone passe insensiblement à la suivante, dont elle ne se distingue guère que par une différence dans la proportion des éléments qui la composent; aussi, faute de ligne de démarcation lithologique, nous lui donnerons comme limite, celle que l'on assigne à l'exploitation, cette dernière étant concentrée tout entière dans le groupe suivant. Cette hypothèse donne à la troisième zone une épaisseur normale de 25 mètres environ.

Quatrième zone. — Groupe de la Carnallite.

Ce groupe, étant le siège de l'exploitation des sels de potasse, est celui qui présente l'intérêt industriel le plus puissant. Il n'est pas moins remarquable au point de vue minéralogique, car on y rencontre la presque totalité des sels qui composent le gisement : la Carnallite, le sel gemme, la Kieserite, la tachydrite, la Stassfurtite et la sylvine.

Ces substances y présentent les caractères suivants :

La *Carnallite* est de beaucoup l'élément dominant, et affecte la forme de couches d'une épaisseur croissante, généralement rouges à la partie inférieure de la zone, et grises vers le toit. A 18 mètres de ce dernier, on en trouve une

qui n'a pas moins de 2 mètres d'épaisseur; c'est la plus puissante de tout le groupe.

Les autres sels jouent un rôle secondaire :

Le *sel gemme* est en bandes minces, pures, incolores et transparentes ayant quelques centimètres seulement de puissance.

La *Kieserite*, enclavée tantôt dans la Carnallite, tantôt dans le sel gemme, ne dépasse plus guère 6-8 centimètres, et diminue graduellement à mesure qu'on s'élève dans le gisement.

La *Stassfurtite* ne se rencontre plus qu'exceptionnellement en couches, et affecte surtout la forme de boules, généralement disposées en zones.

La *Tachydrile* se présente en petits filets minces, rares et discontinus de 1 à 2 centimètres au plus, et presque entièrement condensés dans les parties les plus voisines du toit.

Enfin la *Sylvine* forme, tout à fait à la partie supérieure, quelques rognons de faibles dimensions, plus fréquents à Anhalt qu'à Stassfurt.

Nous obtenons ainsi pour la composition moyenne de la quatrième zone :

Carnallite et chlorure de magnésium.	50
Sel gemme.	25
Kieserite	15
Stassfurtite et Tachydrile.	0,1

Enfin, d'après ce qui précède, le gisement tout entier, limité aux portions explorées jusqu'à ce jour, peut être défini à Stassfurt de la manière suivante :

Constitution géologique.	Épaisseur en mètres	Composition chimique.	
Sel gemme.	174,5	Chlorure de sodium.	85,82
Anhydrite et polyhalite. . .	8,2	Sulfate de chaux.	4,88
Carnallite et chlorure de magnésium.	19,0	Sulfate de magnésie	4,70
Kieserite.	8,5	Sulfate de potasse.	0,40
Stassfurtite et Tachydrile. . .	0,06	Chlorure de magnésium. . .	2,52
		Chlorure de potassium. . .	1,67
		Chlorure de calcium et borate de magnésie.	0,62
			<hr/> 100,00

CHAPITRE III.

CONSIDÉRATIONS GÉOLOGIQUES SUR L'ORIGINE DU BASSIN
DE STASSFURT.I. — *Ancienne théorie. — Formation des salines par simple évaporation d'un lac salé.*

On attribue généralement aux dépôts salins une origine exclusivement sédimentaire, et on les considère comme étant le résidu de l'évaporation lente de mers intérieures, séparées des océans, dont elles faisaient primitivement partie, par quelque grande dénivellation géologique, et dans lesquelles l'affluence des eaux douces, après le soulèvement, était insuffisante pour compenser les pertes par évaporation.

La découverte du gisement de Stassfurt semblait d'abord apporter un nouvel argument à l'appui de cette théorie, en fournissant l'exemple d'un bassin où l'évaporation avait produit, non-seulement une concentration et une précipitation partielles, mais une dessiccation entière et, par suite, un dépôt complet de toutes les substances que renferment les eaux de la mer.

Les sels déliquescents, en effet, que l'on trouve à la partie supérieure du bassin de Stassfurt, présentent de grandes analogies avec ceux que l'on obtient, soit dans le traitement industriel des eaux mères des marais salants, d'après le procédé de M. Balard, soit, plus en petit, dans l'évaporation lente de l'eau de la mer au laboratoire.

Ces deux opérations donnent des résultats semblables qui peuvent se résumer dans le tableau suivant.

INDICATION de l'aréomètre de Baumé.	VALEUR de liquide.	RÉACTIONS et composition des dépôts.	OBSERVATIONS.
Degrés. 3 à 5 7	1.000 700?	Eau de mer naturelle. Dépôt de carbonate de chaux et d'oxyde de fer hydraté ($\text{Fe}^2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{O}$).	Cette première période correspond comme si- lure générale à la zone inférieure de Stassfurt. Quand la liqueur est amenée à un volume de 65 degrés environ, elle renferme :
15	200	Première apparition du gypse (CaO $\text{SO}_3 + 2\text{H}_2\text{O}$).	Potassium. 1,70 Sodium. 6,75 Magnésium. 7,22 Chlore. 26,87 Brome. 1,59 Acide sulfurique 7,63 Eau. 47,71 98,43
16 à 22	"	Dépôt abondant de gypse; à chaud, formation de schlot, sulfate double de chaux et de soude.	La différence 1,57 de cette somme à 100 repré- sente le tiers de l'oxy- gène de l'acide sulfurique, c'est-à-dire l'oxy- gène de la base unie à cet acide.
22 à 24	"	Alternances de gypse et de petites quantités de sel gemme.	
25	112	Fin du dépôt du gypse.	
26	100	Précipitation abondante de chlorure de sodium pur.	
28	50	Chlorure de sodium avec 1 à 2 p. 100 de sulfate de magnésium hydraté ($\text{MgO} \cdot \text{SO}_3 + 7\text{H}_2\text{O}$) surtout à froid.	
28 à 31	30	Dépôts variables avec la tempéra- ture; à froid, la nuit, il se forme surtout du sulfate de magnésium; à une température supérieure à 20 degrés, le jour, principalement du chlorure de sodium mélangé à un peu de chlorure de magnésium.	Série analogue à la deuxième zone de Stass- furt.
32	24	À froid, précipitation du sel mixte, mélangé en parties égales de chlo- rure de sodium et de sulfate de magnésium.	
34 à 36	16,7	Produits complexes et toujours va- riables avec la température, et composés principalement : 1° D'un sulfate double de potasse et de magnésium ($\text{SO}_3 \cdot \text{KO} + \text{SO}_3 \cdot \text{MgO}$ $+ 6\text{H}_2\text{O}$); 2° D'un chlorure double de ma- gnésium et de potassium ($\text{KCl} +$ $2\text{MgCl} + 12\text{H}_2\text{O}$) identiques à la car- nallite; 3° De sel gemme; 4° D'un peu de sulfate de magné- sium. En poids, ce dépôt pris dans son ensemble se compose à peu près de: Sulfate de potasse. 13 Sulfate de magnésium. 20 Chlorure de sodium. 17 Chlorure de potassium. 12 Chlorure de magnésium. 8 Eau. 17 100	Ce dépôt répond à peu près aux dernières zones de Stassfurt.
40	"	Chlorure de magnésium avec petites quantités de bromure et d'iodure.	Le chlorure de magné- sium n'existe à Stassfurt qu'à l'état d'imprégnation dans la tachyrite et la stassfurtite, les autres n'y ont pas en- core été observés.

Ce tableau montre qu'il existe de grandes analogies entre les phénomènes qui se produisent au laboratoire et dans l'industrie, et ceux que la nature a réalisés sur une vaste échelle dans la formation des gisements salins, et en particulier de celui de Stassfurt. Aussi pouvons-nous, dès à présent, conclure que ce dernier est le produit de l'évaporation d'un bassin fermé; mais ici s'arrêtent les analogies. L'étude que nous avons faite des produits de Stassfurt nous signale, entre eux et ceux des marais salants et du laboratoire, des divergences d'allure et de composition qui ne permettent pas de rendre l'assimilation complète, et de conclure que le bassin évaporé était simplement un lac salé ou une mer intérieure.

Nous observons, en effet, dans le bassin de Stassfurt :

1° La substitution du sulfate de chaux anhydre au gypse et celle de la Kieserite monohydratée au sulfate de magnésie à 7 équivalents d'eau;

2° Les alternances régulières d'anhydrite et de sel gemme, dans toute la partie inférieure du gisement;

3° La présence de la boracite (Stassfurtite) et de l'oxyde de fer anhydre dans les zones supérieures, et l'existence du chlorure de calcium (tachydrile) superposé aux dépôts sulfatés et voisin de ces derniers.

Ces anomalies, d'ailleurs, ne sont pas spéciales au seul gisement de Stassfurt; dans un échantillon de sel gemme de Dieuze (?), donné par M. Des Cloizeaux à l'école des Mines, nous avons observé de petits cristaux écailleux de fer oligiste discernables à l'œil nu, et tapissant l'intérieur d'une cavité géodique, et d'autre part, M. Élie de Beaumont a été amené, il y a plus de vingt ans déjà, par l'étude de certaines perturbations observées au contact des gypses du trias lorrain, à conclure que ces derniers avaient été primitivement déposés à l'état d'anhydrite, et que les bombements, qu'ils avaient produits dans les schistes superposés, provenaient de l'augmentation de volume due à leur hydratation.

M. Reichardt, partisan déclaré de l'évaporation et l'un des premiers qui aient donné sur Stassfurt une notice complète, a essayé de lever les difficultés qu'entraîne pour sa théorie l'absence de l'eau dans quelques-uns des sels de Stassfurt, et a émis l'hypothèse que l'anhydrite et la Kieserite avaient dû être primitivement déposées à l'état de gypse et de sulfate à 7 équivalents d'eau et que leur déshydratation n'avait eu lieu que plus tard, lors de la précipitation des sels déliquescents superposés, par suite de l'action absorbante de ces derniers.

Cette explication est complètement inadmissible; d'abord, les sels déliquescents, se déposant au sein d'un liquide, trouvaient naturellement dans ce dernier toute l'eau qui devait entrer dans leur constitution; en second lieu, ils sont à plus de 150 mètres au-dessus des couches inférieures connues d'anhydrite; et enfin ils sont séparés de ces dernières par du chlorure de sodium, substance entièrement dépourvue d'eau, à travers laquelle leur action absorbante ne pouvait en aucune façon s'exercer.

Mais ce n'est pas tout. Aux divergences chimiques entre les sels du bassin et ceux de l'évaporation de l'eau de mer, vient s'ajouter une difficulté physique, dont on ne s'était point préoccupé d'abord, et que M. Reichardt ne mentionne pas, quoiqu'elle soit aussi sérieuse que celle qu'il a essayé de résoudre. Cette difficulté résulte de la profondeur qu'il faudrait supposer au bassin d'eau de mer, capable de produire par sa dessiccation un gisement aussi puissant que celui de Stassfurt. En partant, en effet, de la salure moyenne des mers actuelles (*), on voit que, pour une épaisseur de

(*) On est autorisé à faire cette hypothèse, parce qu'une partie des mollusques existant dans les mers anciennes appartiennent à des genres qui vivent de nos jours et qui ne peuvent supporter des salures notablement différentes de celle des mers actuelles. M. de Baer a constaté, par exemple, dans les marais de la mer Caspienne, que, lorsque la proportion de sel s'élevait de 3,5 à 6, toute vie animale disparaissait à l'intérieur des eaux.

1^{centim.},5 de dépôt salin, il ne faut pas moins de 1 mètre de hauteur d'eau évaporée; on arriverait donc, pour la mer qui eût produit la seule portion aujourd'hui connue du gisement de Stassfurt, à une profondeur supérieure à 20 000 mètres, c'est-à-dire égale à la dénivellation qui existe aujourd'hui entre les cimes de l'Himalaya et le fond de l'Océan Pacifique. Or cette profondeur, ou, ce qui revient au même, la surélévation correspondante des rives au-dessus du fond du bassin, n'est constatée ni topographiquement, ni géologiquement. Bien plus, son existence même est impossible *à priori*, car elle eût entraîné nécessairement celle de cours d'eau importants et réguliers, dont la présence est inconciliable avec l'idée d'une évaporation complète.

II. — *Théorie de M. Bischof. — Études de M. de Baer sur la mer Caspienne.*

Frappé des difficultés que nous venons de signaler, M. Bischof a courageusement renoncé à l'ancienne théorie et l'a remplacée par une explication plus conforme à la constitution topographique et géologique du bassin.

Se basant sur le fait qu'il existe, de nos jours encore, en Russie (*), en Sibérie, en Palestine (**), des sources et des rivières qui, traversant des terrains salifères, apportent et concentrent dans les lacs intérieurs le sel qu'elles entraînent par dissolution, il attribue une origine analogue au gisement dont nous nous occupons, et pense que ce dernier s'est formé dans un lac intérieur, séparé accidentellement de l'Océan par un phénomène de soulèvement, et alimenté, soit par un canal de communication avec la mer, soit par des ruisseaux enlevant des matières solubles à des montagnes de sel avoisinantes.

La première de ces hypothèses n'est qu'indiquée, dans

(*) Le Charisacka, qui se jette dans le lac salé d'Elton.

(**) Le Jourdain, qui se rend dans la mer Morte.

le mémoire de M. Bischof; la seconde, au contraire, y est développée avec soin, et c'est à elle que se rattachent plus spécialement toutes les explications ultérieures.

La nature du dépôt était réglée par les conditions atmosphériques, et variait avec les saisons. Pendant les époques froides et humides, le sulfate de chaux se déposait seul, tandis que le sel gemme se concentrait, pour se précipiter à son tour dans les périodes chaudes et sèches qui les suivaient, et pendant lesquelles l'évaporation était plus active et le débit des ruisseaux moins considérable.

Les sels de magnésie, facilement solubles, restaient dans les eaux mères, ou, s'ils étaient partiellement déposés, étaient dissous de nouveau avec la croûte superficielle, dans la période humide suivante. Ce phénomène, répété tous les ans, a donné les couches alternatives de sel gemme et de sulfate de chaux, qui constituent la zone inférieure du gisement (*).

Peu à peu les eaux cessèrent d'arriver dans le bassin, soit qu'elles aient, en effet, diminué, soit plutôt qu'elles aient été forcées de prendre un autre cours, par suite d'une dénivellation accidentelle: à partir de ce moment, les eaux mères, soumises à une évaporation incessante, donnèrent, par des réactions analogues à celles dont nous avons parlé plus haut, toute la série des sels déliquescents superposés au sel gemme.

Cette première partie de la théorie de M. Bischof, que nous avons reproduite presque textuellement, est d'autant plus remarquable, que les deux hypothèses qui la composent sont simultanément réalisées dans le bassin de la mer Caspienne; il faut ajouter pourtant que c'est la seconde, celle sur laquelle M. Bischof insiste le moins, qui joue de beaucoup le rôle le plus important.

(*) La dénomination de *Jahrringe*, donnée par les mineurs aux petites couches d'anhydrite, correspond exactement à cette théorie.

On sait, en effet, d'une manière positive aujourd'hui, que la mer Caspienne, la mer Noire et le lac d'Aral étaient autrefois réunis en une seule vaste mer intérieure, et que leur séparation remonte à la fin des périodes géologiques, peu avant et peut-être même après l'apparition de l'homme sur la terre.

Cette séparation a eu pour conséquences : l'abaissement insensible du niveau des eaux de la mer Caspienne, puis, grâce à l'évaporation active que la température tropicale des étés entraîne dans ces contrées, la concentration des eaux dans une série de marais salés, la dessiccation lente d'un grand nombre d'entre eux, et finalement la formation de véritables steppes salifères au nord et à l'ouest de la mer Caspienne.

Les bouches occidentales du Volga, les rares petits filets d'eau désignés sous le nom de *limans*, qui traversent ces déserts, s'y chargent, par la démolition lente des falaises argilo-sableuses encaissant leur cours, de substances salines, qu'elles amènent, tantôt dans les lacs et les marais assez alimentés pour résister à l'évaporation, tantôt dans la mer Caspienne elle-même. Grâce à cet apport incessant, les premiers se saturent lentement, et finissent par déposer le sel sous forme de croûtes cristallines au fond de leurs eaux.

Cet ensemble de faits correspond exactement à l'hypothèse fondamentale de M. Bischof, et il faut certainement en tenir compte dans l'étude des gisements salins; mais, dans les temps géologiques, comme dans la mer Caspienne, leur importance a toujours dû être beaucoup moindre que celle des phénomènes qui se passent dans les petits bassins d'évaporation, reliés, soit à la mer elle-même, soit au grand lac intérieur, et qu'il nous reste à décrire maintenant.

Au premier abord, il semblerait que la mer Caspienne, qui reçoit la plus grande partie des ruisseaux salés, doive subir un enrichissement analogue à celui des marais, et la

salure de ses eaux aller graduellement en augmentant. Il n'en est rien pourtant, et l'étude des coquilles, dont la nature et la dimension, pour une espèce donnée, sont en rapport avec la proportion de sel renfermée dans les eaux-mères, a permis de constater que non-seulement cette proportion ne s'était pas accrue depuis la séparation des mers, mais que même la valeur moyenne qu'elle présente dans ce vaste bassin avait subi une diminution très-notable qui se continue encore de nos jours.

Comment cette décroissance et la contradiction apparente qu'elle entraîne peuvent-elles s'expliquer? Telle est la question à laquelle les beaux travaux de M. de Baer (*) sont venus répondre d'une manière aussi simple que satisfaisante.

La mer Caspienne se divise, en effet, en trois parties distinctes; celle du nord, très-étendue en superficie, n'est en quelque sorte que le prolongement du désert sableux, qui en forme les bords. Elle est peu profonde, et reçoit, outre les petits ruisseaux salés venant des steppes, des quantités énormes d'eau, apportées par le Volga, le Terek et l'Oural. Aussi sa salure moyenne n'est-elle que de 15 à 16 dix-millièmes, c'est-à-dire le vingtième seulement de celle de l'Océan.

Les deux autres parties, situées au sud de cet immense marais que les alluvions fluviales tendent incessamment à combler, forment la véritable mer Caspienne. Elles sont séparées par la péninsule d'Apchéron ou de Bakou, qui s'avance très-loin dans la mer, et y projette une longue série de banes de sable, qui trouvent leurs prolongements dans d'autres bas-fonds se rattachant à la rive opposée.

Ces deux bassins présentent de grandes analogies dans

(*) *Caspische Studien* (Études sur la mer Caspienne), par M. de Baer. Saint-Petersbourg, 1854-1860.

leur constitution topographique, mais différent essentiellement par leurs conditions climatiques.

Celui du sud, partiellement abrité des vents du nord par le Caucase, fréquemment arrosé de pluies, possède des bords fertiles et reçoit de nombreux cours d'eau; celui du nord, au contraire, aride, exposé aux seuls vents desséchants du nord et de l'est, et à des températures qui varient depuis -40° jusqu'à $+40$ degrés, est soumis à une évaporation abondante, que viennent compenser les eaux amenées dans les deux autres bassins.

Il en résulte, vers la partie centrale de la mer Caspienne, un mouvement général de concentration, qui se traduit par des courants réguliers et continus. Ces courants, sensibles surtout vers les rivages, ont pour effet d'accumuler, devant chaque anse, chaque baie de ce vaste littoral, de petites dunes de sable, qui en rétrécissent l'entrée, et finissent par ne plus laisser subsister qu'un étroit canal entre la mer et le golfe transformé en lagune. Grâce au voisinage du désert aride et brûlant des steppes, l'évaporation est extrêmement rapide le long des côtes, et il s'établit bientôt, dans le petit canal de communication, un courant régulier, qui amène incessamment de nouvelles eaux et, par suite, de nouvelles quantités de sel dans la lagune : ce dernier s'y accumule comme dans les marais des limans, en sature les eaux, et finit par en recouvrir le fond d'un dépôt cristallin.

Qu'une sécheresse exceptionnelle abaisse la surface de la

réunis près de la citadelle de Novo-Petrowsk, dans une ancienne baie, aujourd'hui subdivisée en une foule de petits bassins.

L'un d'eux n'est pas encore entièrement séparé de la mer, dont il reçoit toujours les eaux, et n'a déposé qu'un peu de sel sur ses rives; un autre, plus concentré mais non encore desséché, a le fond couvert d'une croûte cristalline; un autre enfin, complètement évaporé, a déjà enfoui sous les sables apportés par les vents les couches de sel qu'il avait déposées, et constitue ainsi un véritable gisement salin.

Mais le plus remarquable et de beaucoup le plus vaste de ces golfes est le Karaboghaz (gouffre noir) qui réunissait autrefois le lac d'Aral à la mer Caspienne, et qui aujourd'hui ne communique plus avec cette dernière que par un canal étroit, ayant 150 mètres de largeur à peine, dans sa partie la plus rétrécie. Le fond de ce détroit se relève lentement vers l'intérieur de la baie, si bien qu'à l'entrée de celle-ci il forme une large barre dont la plus faible profondeur est de 5 pieds seulement.

Un courant constant, dont la vitesse varie, suivant le vent, depuis un nœud et demi jusqu'à quatre nœuds à l'heure, porte incessamment les eaux de la mer dans ce vaste gouffre, sur lequel, jusqu'à ces derniers temps, aucune embarcation n'avait osé s'aventurer. Le mouvement régulier de ce fleuve d'eau salée, se déversant sans relâche, à travers de sombres écueils dans un golfe sans issue, a frappé tous les peuples qui ont vécu ou passé sur ces rives inhospitalières, et les remplissait autrefois d'une terreur superstitieuse (*).

(*) Peut-être, suivant l'ingénieuse remarque de M. E. Reclus, qui a fait connaître en France les travaux de M. de Baer, faut-il voir dans ces faits l'explication de ces gouffres souterrains qui, suivant Aristote, réunissaient le pont Euxin à la mer d'Hyrcanie.

Aujourd'hui, nous ne devons plus y voir qu'une conséquence naturelle de l'évaporation puissante qui se fait à la surface de cette immense nappe d'eau, dont ni les ruisseaux, ni les sources, ni les eaux du ciel ne viennent combler le déficit incessant.

Le Karaboghaz est donc un vaste réservoir de concentration où viennent s'accumuler chaque jour, en supposant au courant une vitesse moyenne de 3 nœuds à l'heure, 350.000 tonnes de sel, si bien qu'aujourd'hui, malgré son étendue, ce lac immense est à peu près saturé, que toute vie animale y a cessé, que les végétaux même ont disparu de ses bords, et que déjà le sel commence à se déposer sur le fond.

Toute cette série de phénomènes, qui se reproduit sans relâche depuis la séparation des mers, se répètera jusqu'à ce qu'une surélévation accidentelle de la barre vienne à fermer l'entrée du canal; alors, l'évaporation continuant, le lac disparaîtra rapidement, et il ne restera plus qu'un vaste champ de sel, entrecoupé dans les parties basses de marais qui, eux-mêmes, finiront sans doute par disparaître. Si, au contraire, la communication avec la mer persiste, le mouvement enrichissant lui-même conservera sa puissance actuelle, et se poursuivra jusqu'à ce que le bassin tout entier soit comblé, formant ainsi une saline, dont la puissance et l'étendue égaleront et dépasseront même celles des gisements que nous ont léguées les périodes géologiques.

Si, de plus, dans ce dernier cas, aucun mouvement du sol ne vient enlever les dernières eaux mères, et si enfin, après le dépôt complet des sels, des argiles protectrices viennent les garantir contre des lavages ultérieurs, leur couche supérieure sera composée de sels de potasse et de magnésie analogues à ceux qui forment les dernières zones de Stassfurt.

Le résultat final de l'ensemble des phénomènes que nous

venons de décrire, présente donc de grandes analogies avec les gîtes de sel des périodes géologiques, et, s'il ne correspond aujourd'hui qu'à un nombre de faits non-seulement restreint, mais réduit peut-être même au seul exemple que nous venons de citer, il devait en être tout autrement dans les périodes anciennes, où les oscillations du sol étaient fréquentes et les changements dans la forme des bassins extrêmement nombreux.

Aussi pensons-nous que ces phénomènes ont joué un rôle important dans la formation des gisements salins, et qu'ils rendent parfaitement compte des diverses circonstances qui caractérisent l'allure d'un grand nombre d'entre eux. Les alternances si fréquentes de schistes et d'argiles salifères avec le sel lui-même, la présence presque constante d'une quantité notable de sulfate de chaux mélangé au chlorure de sodium, la puissance considérable et la forme lenticulaire de certains amas de sel gemme trouvent une explication satisfaisante dans le cycle de phénomènes observés dans le bassin de la mer Caspienne, et qui peuvent se résumer ainsi :

Oscillation du sol, isolant de l'Océan une mer intérieure;

Dessiccation des parties basses de celle-ci et formation de marais et de steppes salifères;

Lavage de ces steppes par les cours d'eau qui les traversent, au profit de la portion subsistante du grand lac ou des marais environnants;

Accumulation incessante d'eau et de sel dans les bassins d'évaporation qui entourent ces derniers, et finalement dépôt de sel sur le fond de ces derniers.

Cette théorie peut-elle s'étendre à tous les gisements salins, et en particulier est-elle susceptible d'être complétée par les explications spéciales qui exigent les particularités que présente la partie supérieure de celui de Stassfurt? C'est ce que M. Bischof a essayé de montrer dans la deuxième partie de sa théorie.

Nous savons, en effet, que les divergences consistent en ce que les composés salins, obtenus par l'évaporation lente ou rapide des eaux de la mer, sont plus hydratés que ceux que l'on rencontre à Stassfurt, et que quelques-uns d'entre eux sont remplacés par d'autres, dont on ne trouve pas de traces dans les eaux des mers actuelles.

Or, d'après ce qui précède, on voit que M. Bischof est amené par sa théorie à admettre, comme M. Reichardt, que les différents sels du gisement se sont déposés avec la proportion d'eau normale à une température de 50 degrés environ (*), mais il donne une toute autre cause à leur déshydratation ultérieure, et il admet que cette dernière est due à un échauffement accidentel, qui aurait porté la formation saline toute entière à une température peu supérieure à 100 degrés. Une pareille température est, en effet, sans action sur la Carnallite et la Tachydrite (qui commencent à perdre leur eau, la première à 120 degrés et la seconde à 160 degrés seulement), et elle suffit, selon lui, à la déshydratation du gypse et à la transformation du sulfate de magnésie ordinaire en Kieserite. Ces dernières assertions ne sont point conformes aux indications fournies par les traités de chimie, qui élèvent à 120 et 150 degrés les températures nécessaires aux transformations correspondantes; mais M. Bischof pense que la contradiction n'est qu'apparente, et qu'elle disparaît tout à fait par la remarque que, même dans

(*) Cette température élevée est nécessaire pour expliquer l'évaporation énergique que suppose la théorie de M. Bischof, puisque, d'après celle-ci, l'épaisseur d'une couche de sel gemme comprise entre deux filets d'anhydrite, augmentée de celui des deux sur lequel elle repose, est le résultat de l'évaporation d'une seule année. Or cette épaisseur de sel correspond à une hauteur d'eau saturée de 1^m,60 à peu près, hauteur à laquelle il faut ajouter celle apportée par les eaux pluviales. Une évaporation aussi énergique suppose, comme le fait remarquer M. Bischof lui-même, des conditions climatiques qui sont à peine réalisées aujourd'hui dans les régions équatoriales.

les laboratoires, la déshydratation commence à 100 degrés déjà, et que, dans le gisement, cette température a pu suffire pour la rendre complète, son action étant puissamment renforcée par celle du temps extrêmement long pendant lequel elle s'est exercée. C'est également au temps que M. Bischof attribue la déshydratation de l'oxyde de fer, qui se trouve en paillettes rhombiques dans la Carnallite. Enfin, il pense que la pression à laquelle se sont précipités les divers sels a dû exercer une grande influence sur leur composition, quoique, d'autre part, il constate que les cristaux de sulfate de chaux, qui se déposent sur les appareils de sondage à une profondeur de 600 mètres, c'est-à-dire à une pression voisine de 60 atmosphères, présentent la forme et la composition du gypse et non celles de l'anhydrite.

Quant à la Tachydrite et à la Stassfurtite, leur formation ne trouve pas de place dans cet ordre d'idées; aussi M. Bischof n'en parle-t-il qu'incidemment, lors de la description de ces substances, et attribue-t-il à la seconde, la seule dont il se préoccupe, une origine différente de celle du reste du bassin, et analogue au phénomène qui produit aujourd'hui l'acide borique dans les suffioni de Toscane.

Cette théorie, beaucoup plus complète que celle de M. Reichardt, n'est pourtant pas à l'abri de toute objection. Sans parler des nombreuses difficultés de détails qu'entraînent ces hypothèses, souvent contradictoires, sur l'influence du temps et de la pression, la nécessité d'invoquer, pour expliquer la présence de la boracite, des dislocations postérieures au dépôt des trois premières zones, et dont on ne retrouve pas de traces dans ce gisement; l'absence de toute interprétation relative à l'existence de la Tachydrite après le dépôt de sulfate de magnésie; enfin et surtout, la difficulté d'expliquer comment et par où a pu s'échapper l'eau du gypse, alors qu'au contraire la netteté des couches de sel gemme et la régularité de leur superposition aux filets d'anhydrite sont incompatibles avec les perturbations qu'eû

nécessairement entraînées le passage de l'eau provenant du gypse sous-jacent, tout cela ne nous permet pas de considérer la théorie de M. Bischof comme une solution définitive du problème de l'origine du gisement de Stassfurt.

Le problème subsiste donc, et nous allons, en terminant, sinon en donner la solution complète, au moins indiquer la plupart des éléments qui la composent et qui ressortent de l'étude que nous venons de faire.

III. — *Solution mixte. — Formation des dépôts salins par l'action combinée des émanations et de la sédimentation.*

Les théories de MM. Reichardt et Bischof prouvent surabondamment que, quelque large que soit la part faite à l'action sédimentaire dans la formation des dépôts salins, cette action est impuissante à expliquer complètement l'origine de certains d'entre eux, et qu'il faut lui ajouter l'influence des forces éruptives. Essayons donc de nous rendre compte de l'action de ces dernières.

On sait depuis longtemps que les émanations volcaniques présentent, outre la vapeur d'eau, comme éléments principaux, les chlorures alcalins et métalliques, le soufre avec quelques-uns de ses produits volatils, et même des hydrocarbures divers, depuis les gaz les plus légers jusqu'au pétrole et au bitume. Ces trois séries de corps se présentent dans l'ordre dans lequel nous venons de les citer, à partir du centre de l'éruption, sauf le chlorure de sodium qui se trouve à la fois avec les premiers et les derniers produits. Près du cratère, il tapisse les fentes, accompagné du chlorure de potassium; dans son voisinage se trouve le chlorure de fer, qui par son contact avec l'air, au milieu de gaz chauds abondamment chargés de vapeur d'eau, possède la propriété remarquable de se transformer en fer oxydé, c'est-à-dire en oxyde anhydre. — A l'autre extrémité de l'activité volcanique, le chlorure de sodium se retrouve en

le district de Julianehaab (Gröenland) où sont des sources thermales, et finalement les fumerolles de Reykholar et la soufrière de Krafla (Islande), dont les épanchements bitumineux recouvrent souvent de nappes enflammées le lac Myvatn.

Enfin deux faisceaux parallèles entre eux et à un grand cercle très-remarquable (*) caractérisé par l'Amazone, le haut Danube et l'Oural comprennent les points suivants : le premier embrasse les gisements de houille et de mercure des Asturies et le cours du Mincio, les arkoses et les schistes bitumineux du lias à Avallon, les gîtes de bitume et de fer de l'Alsace, les salines de Bayreuth, Joachimsthal (filons métallifères), Carlsbad, Tœplitz, les lacs des marais de Pinsk, c'est-à-dire la ligne de séparation des eaux de la Baltique et de la mer Noire; le second, contigu et un peu plus au nord, relève les gypses parisiens, le Stahlberg en Prusse, les gîtes métallifères du pays de Siegen et le gisement de Stassfurt.

Nous sommes donc naturellement amenés à penser que des phénomènes éruptifs ont joué un grand rôle dans l'origine d'un certain nombre de gisements salins, et à regarder ces derniers, au moins partiellement, comme des produits d'émanations souterraines. Mais la grande difficulté consiste à limiter l'influence des forces éruptives, et à montrer dans quelle mesure leur action s'est combinée avec celle de la sédimentation.

Pour le gisement de Stassfurt, M. Bischof ne la fait intervenir que pendant la dernière période du dépôt et la restreint à la production de la Stassfurtite, et à l'élévation de température nécessaire pour la deshydratation des sels.

Nous avons vu les difficultés qui naissent de cette hypo-

(*) Ce cercle est un trapézoédrique (TmT) du réseau pentagonal, les précédents passent par les deux points H de ce réseau, situés l'un près de Tehuantepec, l'autre dans la mer des Indes.

thèse, et nous n'hésitons pas à dire que, pour les faire disparaître, il faut donner à l'action éruptive une part bien plus large et l'étendre à toutes les périodes de la formation du gisement. Ces dernières peuvent alors se résumer de la manière suivante :

A la suite d'une dislocation de l'écorce terrestre, des émanations, sous forme de gaz et de sources thermales, arrivent dans un bassin fermé occupé par un lac ou mieux par une lagune d'eau salée. L'épanchement a lieu comme on le voit aujourd'hui encore dans les salzes, tantôt par les bords, tantôt par le fond même du bassin (*), et leur premier effet est d'élever la température de ce dernier, et d'y apporter des matières boueuses, analogues aux salbandes des filons et provenant de la décomposition des roches sur leur passage. Quant aux substances salines qu'elles tiennent en dissolution, elles sont nécessairement très-variables, et se confondent très-souvent dans les dépôts avec celles qui se trouvaient primitivement dans les eaux du bassin.

L'examen des argiles salifères et, en particulier, l'étude des marnes irisées, qui correspondent à la grande époque de formation des gisements de sels, montrent, d'ailleurs, qu'en général ces substances ont dû être très-nombreuses, et comprendre, outre les chlorures et les sulfates alcalins et alcalino-terreux, une grande partie des minéraux habituels des filons, tels que les oxydes et les sulfures métalliques, et plus particulièrement ceux de fer et de cuivre (**). Quoi qu'il en soit, grâce à cette arrivée incessante de vapeurs et d'eaux chaudes, la température du bassin s'élève

(*) A Stassfurt, la position de la boracite semble prouver que les émanations ont eu lieu plutôt par le fond.

(**) Nous avons eu occasion d'observer ce fait particulière dans la vallée Trompia (province de Brescia, Lombardie), o marnes irisées sont représentées par des argiles et des schiste riolés recoupés par des veinules nombreuses et irrégulière pyrite de fer et de cuivre.

rapidement; une évaporation abondante, et quelquefois même une ébullition ont lieu, et la précipitation des sels commence. Le dépôt est naturellement d'abord du sulfate de chaux, à un état qui varie avec la température. Nous avons constaté nous-même, qu'en chauffant à 150 degrés, au plus, dans un tube de verre fermé à la lampe, une dissolution saturée de sulfate de chaux, ce dernier se précipitait sous forme de petites aiguilles prismatiques, qui, après dessiccation à une température voisine de 100 degrés ne renfermaient plus d'eau combinée et étaient par conséquent formées d'anhydrite pure. A des températures inférieures, on obtiendrait, sans doute, un mélange d'anhydrite et de gypse, tel qu'il est réalisé dans la grande formation superposée au gîte de Stassfurt, enfin, à une température encore plus basse du gypse pur.

Ces dépôts, qu'ils soient ou non surmontés d'une couche de chlorure de sodium, présentent souvent des épaisseurs telles, que, pour expliquer leur formation par voie d'évaporation, il faudrait, ici encore, supposer des profondeurs de mer tout à fait inadmissibles. Comme, d'autre part, on ne peut pas invoquer en leur faveur le cycle des phénomènes du Karaboghaz, puisqu'ils seraient entremêlés de dépôts de sel marin, et qu'enfin on les retrouve à toutes les époques géologiques, dans des terrains d'argiles bariolées, analogues aux marnes irisées, et portant, comme ces dernières, l'empreinte d'émanations métallifères (*), nous croyons être simplement l'interprète de l'opinion de tous les géologues, en attribuant à ces dépôts de gypse et d'anhydrite une origine franchement éruptive. Après la précipitation du sulfate de chaux, qui se trouve enfoui, à Stassfurt, à des profondeurs encore inconnues, commence, dans les conditions de concentration indiquées plus haut, le dépôt du

(*) Nous citerons, comme exemple, les gypses de Montmartre situés dans les marnes vertes.

chlorure de sodium. Les alternances de ce sel avec l'anhydrite et les particularités caractéristiques des filets de ce dernier s'expliquent par des intermittences dans l'arrivée des sources, et par la corrosion que produisent les eaux nouvelles non encore saturées. D'ailleurs l'évaporation active qu'entraîne la température élevée du bassin rend parfaitement possible la coexistence des phénomènes dont nous parlons, avec ceux que nous avons décrits dans la mer Caspienne, et il serait extrêmement intéressant de rechercher si, dans le Karabaghaz lui-même, les phénomènes d'émanation ne sont pas révélés par la composition des eaux, et spécialement par leur teneur en produits hydrocarbures.

Cette première période correspond à la zone inférieure de Stassfurt.

Peu à peu, le débit des sources diminue, et les liqueurs se concentrent de plus en plus. Quand la température est très-élevée, comme à Stassfurt, il n'y a pas de période nette pour le dépôt du sulfate de magnésie, mais, au contraire, formation d'un *schlot* analogue à celui que l'on obtient par l'ébullition des eaux des salines. Les deux dépôts pourtant ne sont pas identiques, à cause de l'arrivée incessante de nouvelles eaux chargées de sulfate de chaux dans le bassin soumis à l'évaporation. Aussi, tandis que dans l'opération industrielle on obtient séparément le sulfate double de chaux et de soude (*schlot*) avant le dépôt du sel gemme, et le sulfate double de potasse et magnésie après la précipitation de ce dernier, les deux sels doubles sont, pour ainsi dire, réunis en un seul dans le gisement salin, et y forment la polyhalite, dont les dépôts, essentiellement variables avec la température, sont à la fois plus épais et moins réguliers que ceux de l'anhydrite pure. Quant à la magnésie, elle commence à se déposer, en proportion croissante avec la concentration, à l'état de chlorure de magnésium imprégnant les précipités.

C'est la seconde zone de Stassfurt.

A partir de ce moment, il n'est plus possible de donner une description générale du phénomène, les moindres divergences dans l'allure des émanations suffisant pour y introduire des modifications profondes, et même pour en changer complètement les résultats. Comme d'ailleurs on ne connaît jusqu'aujourd'hui que le seul gisement de Stassfurt, dans lequel l'évaporation ait pu atteindre sans interruption un tel degré d'avancement, c'est de ce dernier seulement que nous parlerons, en retraçant les dernières phases de la formation du dépôt salin.

Pendant la période suivante, l'activité éruptive s'étant considérablement ralentie à Stassfurt, les eaux mères se concentrent et se refroidissent rapidement. Bientôt la température est assez basse pour donner lieu aux réactions inverses de celles qui avaient produit le schlot potassique, et le sulfate de magnésie apparaît. D'ailleurs, comme à chaque redoublement d'activité dans les émanations, la température est de nouveau élevée et la concentration diminuée, le sel magnésien se précipite avec un équivalent d'eau seulement (Kieserite), et son dépôt alterne d'abord avec celui de la polyhalite : mais cette dernière disparaît peu à peu ainsi que le chlorure de magnésium imprégnant, et les liqueurs sont alors assez concentrées pour que le chlorure double de potassium et de magnésium commence à se déposer, en proportion rapidement croissante, sous forme de carnallite. Les variations d'épaisseur et les alternances de cette dernière avec les autres sels s'expliquent facilement par l'intermittence persistante des phénomènes d'émanation.

C'est la troisième zone de la formation prussienne.

Enfin, pendant la dernière période de l'évaporation (quatrième zone du gisement de Stassfurt) les émanations subissent des changements de composition remarquables.

Tandis que les sels alcalins, chlorures et sulfates, diminuent de plus en plus, les produits hydrocarburés, jusqu'à peu importants, augmentent d'une manière sensible, et

restent partiellement emprisonnés dans les dépôts sous forme de gaz ou d'enduits bitumeux (*).

D'autre part, il apparaît des substances nouvelles, que leur composition chimique empêche de considérer comme des produits de concentration.

Ce sont d'abord les sels de fer, précipités entre les feuillets de la Carnallite, en petites paillettes rhombiques d'oxyde anhydre, dont la formation doit être attribuée à la température à laquelle les dégagements gazeux portaient à ce moment les eaux mères. C'est ce que nous avons essayé de montrer par les expériences suivantes, dans lesquelles nous avons cherché à nous rapprocher, autant que possible, des conditions probables du dépôt.

Pour cela, nous avons dissous 500 gr. environ de Carnallite rouge, séparé par filtration l'oxyde de fer et une partie des sels moins solubles, et divisé la dissolution filtrée en plusieurs parties. Sachant d'ailleurs, par les expériences de M. Rivot (**), que l'état d'hydratation de l'oxyde de fer, déposé dans les liqueurs alcalines, dépendait essentiellement des conditions dans lesquelles s'effectuait sa précipitation, et que, suivant la température et la nature des réactifs, on obtenait, en restant au dessous de l'ébullition, les trois hydrates, Fe^2O^3 , $3\text{HO} - 2\text{Fe}^2\text{O}^3$, $3\text{HO} - \text{Fe}^2\text{O}^3$, HO , et peut-être même les deux hydrates moins connus $2\text{Fe}^2\text{O}^3$, $\text{HO} - \text{Fe}^2\text{O}^3$, 2HO , mais jamais l'oxyde anhydre, nous avons de suite opéré à haute température, et soumis l'une de ces parties, après addition de sulfate de protoxyde de fer, à une rapide évaporation à sec; mais quoique la température d'ébullition se soit élevée graduellement depuis 110 jusqu'à

(*) L'absence complète de ces empreintes végétales, qui caractérisent les argiles bitumineuses introduites mécaniquement dans les bassins salés, n'autorise point à attribuer à ces hydrocarbures une origine différente de celle que nous leur supposons.

(**) *Docimasia*, tome III, pages 333 et 334.

127 degrés; nous n'avons obtenu dans le dépôt que l'hydrate ordinaire $\text{Fe}^2\text{O}^3, 3\text{H}_2\text{O}$.

Il importait donc de réaliser des températures encore plus élevées, et pour cela, une deuxième partie a été introduite dans un tube fermé, placé lui-même dans un bain d'huile chauffé d'abord à 140, puis à 150 degrés. A cette dernière température, il s'est formé en plusieurs points des parois du tube, un dépôt semi-cristallin, transluide, d'un rouge vif, et qui, même au bout de plusieurs jours, ne s'est plus redissous dans la liqueur surnageante.

Ce précipité présentait donc tous les caractères de l'oxyde anhydre.

Dans une troisième série d'expériences, nous avons remplacé le sulfate par le perchlorure, et nous avons obtenu des résultats identiques; mais il fallait pour cela élever la température jusqu'à 180 degrés environ, condition que l'on ne peut guère supposer avoir été réalisée lors de la formation du gisement salin.

Nous regrettons d'ailleurs que, dans l'un et l'autre cas, la quantité d'oxyde de fer produite ait été trop faible pour permettre de constater directement l'absence d'eau combinée; mais les expériences précédentes suffisent pour l'établir, et la seconde d'entre elles fixe en même temps, à l'élévation de température nécessaire à la formation du dépôt, une valeur identique à celle qu'exige, comme nous l'avons vu, la précipitation de l'anhydrite.

La deuxième substance nouvelle, introduite dans les eaux mères, est une émanation analogue aux suffioni de Toscane, un dégagement bulleux de gaz et d'acide borique.

Ce dernier, pénétrant à une haute température dans les eaux mères fortement magnésiennes, se précipite à l'état de Stassfurtite (sel double de borate de magnésie et de chlorure de magnésium), entraîne, à l'état de mélange ou d'imprégnation, une partie des sels renfermés dans les liqueurs ambiantes, et particulièrement du chlorure de magnésium,

et emprisonne, à l'intérieur de son dépôt, qui, à cause de la précipitation, généralement a conservé la forme sphérique, des masses cristallines de Carnallite d'une extrême pureté.

Enfin vient la tachydrite, chlorure double de calcium et de potassium, dont l'apparition a dû être postérieure au dépôt complet des matières sulfatées primitivement contenues dans les liqueurs ou apportées par les émanations. Grâce à sa grande solubilité, cette substance s'accumule dans les eaux avec le chlorure de magnésium, et le dépôt complet de ces deux sels n'a lieu qu'après la précipitation de tous les autres, par l'évaporation à sec du bassin tout entier.

Il n'existe à Stassfurt que peu de traces de cette dernière phase, si tant est que les phénomènes qui la composent aient jamais pu s'accomplir jusqu'au bout ; les mouvements du sol qui l'ont suivie, et peut-être interrompue, ayant amené dans le bassin des quantités considérables d'eaux boueuses, superficielles ou souterraines, qui ont redissous la presque totalité des sels auxquels cette période avait donné naissance. Heureusement les argiles, dont ces nouvelles eaux étaient chargées, formèrent assez rapidement un manteau protecteur au-dessus du dépôt salin encore intact, pour qu'une partie du chlorure double de calcium et de magnésium ait pu échapper à la dissolution et être conservée, comme nous l'avons vu, dans les parties boueuses voisines du toit.

D'ailleurs, ce mouvement du sol lui-même, loin d'arrêter complètement le phénomène de l'émanation des matières salines, semble au contraire lui avoir donné une intensité nouvelle : il suffit, pour le montrer, de rappeler la puissante formation de gypse et d'anhydrite qui surmonte les schistes argileux du toit, et, plus encore (si le sondage indiqué par M. Reichardt est exact), la deuxième formation salifère qui reproduit exactement, quoique sur une échelle moindre, les accidents qui caractérisent l'allure de la première, et qui

est intercalée à Anhalt, entre celle-ci et les dépôts gypseux superposés.

On voit donc que l'hypothèse que nous avons faite sur l'origine éruptive des dépôts salins rend compte de la plupart des particularités que présente leur allure, et, s'il reste encore des divergences de détail qui ne permettent pas de considérer la solution comme complète, au moins celle-ci est-elle débarrassée des difficultés principales que l'action sédimentaire seule était impuissante à résoudre.

Ce n'est d'ailleurs pas là un fait isolé, et, dans la plupart des phénomènes où la sédimentation a joué un grand rôle, elle n'a presque jamais été que la cause seconde, venant compléter l'action des forces éruptives et des émanations qui l'avaient précédée.

Les dépôts de sédimentation mécanique, grès et argiles, ne s'expliquent que par de grands mouvements d'eau et par l'apparition soudaine de hautes falaises contre lesquelles les flots venaient se briser, c'est-à-dire par des phénomènes de soulèvement; les dépôts de précipitation chimique, marnes et calcaires, présupposent, dans les eaux qui les ont déposés, des substances que la mer n'a jamais pu contenir à l'état normal, et qui avaient dû y être introduites sous la forme de sources, c'est-à-dire par des émanations souterraines.

Les gisements salins, qui, pendant longtemps, semblaient être le résultat de la seule sédimentation, ne font donc que rentrer dans la loi générale, en ayant, eux aussi, une origine mixte; ils prouvent une fois de plus que si la géologie veut être autre chose qu'une simple description des faits et remonter à l'origine des phénomènes qu'elle retrace, elle doit entrer franchement dans la voie de l'étude des forces éruptives, qu'ont si largement ouverte les beaux travaux de M. Elie de Beaumont.

CHAPITRE IV.

EXPLOITATION DU GISEMENT SALIN.

I. — *Mode d'exploitation. — Abatage.*

Nous venons de voir que l'exploitation du gisement de Stassfurt était concentrée tout entière dans les deux zones extrêmes de la formation saline, correspondant, l'une au sel gemme pur, l'autre à la partie la plus riche en Carnallite.

Grâce à la grande régularité d'allure des différentes couches qui les composent, on a pu employer, dans ces deux zones, un mode de travail sensiblement uniforme, d'une simplicité extrême, et qui se réduit, jusqu'à ce jour, à un tracage régulier, installé à un niveau unique.

Profitant, en effet, de la puissance exceptionnelle et de l'inclinaison du gisement, on a relié les deux puits de Manteuffel et Von der Heydt par une galerie située à 350 mètres environ au-dessous de la surface du sol, et se dirigeant horizontalement à travers banc, de manière à recouper le champ d'exploitation du sel gemme par la branche allant vers l'est, et celui de la Carnallite par le rameau occidental. La première a été arrêtée, sans avoir atteint le mur de la formation saline, à 240 mètres du puits Von der Heydt, l'autre a rencontré les argiles schisteuses du toit à 75 mètres environ du puits Manteuffel. A ce niveau, les sels impurs constituant les zones centrales inexploitées se trouvent dans le voisinage même des puits, et marquent ainsi une délimitation nette entre les deux champs de travail : celui du sel gemme est relégué à la droite, celui de la Carnallite à la gauche des puits qui les mettent en relation avec le jour.

L'exploitation du sel gemme est de beaucoup la plus lière; elle est encadrée par une série de galeries d'aller et retour, dirigées à peu près N. S., et dont deux seulement exécutées jusqu'à ce jour : la première, située à 36 m du puits Von der Heydt, a une longueur de 280 mètres

seconde, placée 120 mètres plus loin, présente un développement beaucoup moindre. On en percera une troisième, lorsque la galerie à travers banc aura préalablement atteint une longueur suffisante pour permettre de l'installer à 120 mètres de la seconde.

Dans la Carnallite on a exécuté un traçage analogue, et recoupé le massif des sels déliquescents par deux galeries d'allongement moins régulières que les précédentes, et situées, l'une au toit même de la couche, l'autre à 30 mètres environ de ce dernier. Elles ont atteint chacune un développement de près de 400 mètres aujourd'hui, et sont poussées activement à leurs deux extrémités.

Les grands massifs, délimités dans les deux champs de travail par ce premier traçage, sont ensuite recoupés par une série de galeries d'abatage, entre lesquelles on réserve des piliers solides. Ces galeries avaient, dans l'origine, 6 mètres de largeur seulement et les piliers 8. Bientôt on adopta, dans le sel gemme, des dimensions inverses, et tout récemment on donna, à quelques-unes d'entre elles, une largeur trois fois plus grande, en abattant le massif qui séparait deux galeries contiguës, sans qu'il soit résulté de cette augmentation aucun inconvénient pour la solidité du toit.

Dans la Carnallite, la résistance beaucoup moindre des sels déliquescents oblige à maintenir à peu près les dimensions primitives, et, aujourd'hui encore, on donne aux piliers qui vont jusqu'à la limite du gisement la forme de trapèzes ayant 8 mètres d'épaisseur à la partie voisine du toit et 6 vers la galerie de roulage; les galeries d'abatage ont les dimensions inverses, 6 mètres au toit et 8 à l'autre extrémité.

Ces nombres impliquent par eux-mêmes l'absence de tout boisage dans l'intérieur de la mine.

Le percement de toutes ces galeries s'exécute d'une manière uniforme, en pratiquant d'abord, dans l'axe du travail projeté, un petit boyau de 1 mètre de large sur 2 de haut,

et en élargissant ensuite ce dernier en une seule fois jusqu'aux dimensions normales; l'abatage, dans le sens de la hauteur, se fait par gradins renversés dans le sel gemme, par gradins droits dans la Carnallite, différence qui provient de la position de la galerie de roulage dans cette dernière, et qui est sans influence sensible sur le prix de revient.

Pendant un certain temps, on avait le projet de modifier ce mode de travail, et de dépiler entièrement la zone, où toute la Carnallite exploitable à ce niveau se trouve concentrée. Le traçage aurait été entièrement supprimé, et tout le sel compris entre deux galeries de roulage enlevé à l'aide de trois chantiers, simultanément en activité et en retrait les uns sur les autres dans le sens de l'épaisseur. Des remblais, fournis par le sel impur et les rebuts du triage, seraient venus combler les vides de l'exploitation. Mais un effondrement, suivi d'infiltrations, qui s'est produit dans la galerie de roulage, relativement étroite, qui longe le toit, et qui a nécessité un boisage très-solide, a montré que les sels déliquescents et les schistes superposés n'offraient pas une solidité suffisante pour permettre cette innovation, et le dépilage a été provisoirement ajourné.

Le travail lui-même ne présente, dans la Carnallite comme dans le sel gemme, aucune particularité digne d'être mentionnée, si ce n'est peut-être une régularité rarement réalisable dans les exploitations de ce genre.

Il se fait tout entier à la poudre; les lignes de stratification ne paraissent avoir aucune influence sur la direction des coups de mine, dont la longueur varie de 0^m,35 à 1 mètre et même au delà. La quantité de poudre consommée, pendant le mois de janvier 1863, a été, en moyenne, de 1 kil. pour trois tonnes de sel abattu; son acquisition est tout entière aux frais des ouvriers, ainsi que l'entretien de leurs outils.

Tous les travaux sont entrepris à forfait; les prix moyens, pendant le mois de janvier 1863, ont été :

	Thalers. Sgr.			Francs.
Dans le sel gemme.	15	15	par lochter cube en petites galeries, soit.	7,20 par M ³
Id.	8	15	gradins renversés. . .	2,60 —
Dans la Carnallite.	10	15	petites galeries. . .	5,05 —
Id.	5	10	en gradins droits. . .	2,80 —

II. — *Triage, roulage, extraction.*

Le triage se fait à l'intérieur de la mine même; il n'a qu'une faible importance pour le sel gemme, mais doit être extrêmement soigné pour la Carnallite. Aussi le nombre d'ouvriers employés à ce travail, dans les deux champs d'exploitation, varie-t-il dans le rapport de 1 à 3 pour une même quantité de sel extrait. Les parties abandonnées restent dans les galeries et sont utilisées, le cas échéant, comme remblais; elles s'élèvent, dans les sels déliquescents, à Stassfurt au tiers, à Anhalt au cinquième seulement des matières abattues, et contiennent encore, en moyenne, de 7 à 8 p. 100 de chlorure de potassium.

Le sel trié renferme alors 0,65, 0,70 de son poids environ de Carnallite pure, ce qui lui donne, à Stassfurt, une richesse moyenne de 15 à 18 p. 100, et à Anhalt de 17 à 20 p. 100 en chlorure de potassium.

Le transport intérieur se fait dans des wagons mobiles autour d'un axe vertical comme les chiens de mine, et pouvant contenir 650 kil.; toutes les galeries de roulage sont munies de rails écartés de 0^m,80, et ont une pente de 1/150 vers le puits Manteuffel.

Le nombre total des ouvriers employés dans la mine était de 251 en janvier 1863: ils se répartissaient de la manière suivante:

	Ouvriers employés.
Dans les chantiers d'abatage du sel gemme. . . .	82
Dans les chantiers d'abatage de la carnallite. . . .	36
Dans les petites galeries (sel gemme et carnallite). . .	20
Au triage du sel gemme.	22
Au triage de la carnallite.	30
A l'entretien des galeries (rails, etc.).	13
Au roulage et à la recette intérieure.	45
Aux pompes.	3
	<hr/> 251

Ils restent 10 heures dans la mine, entrent et sortent par des bennes guidées, placées dans un compartiment du puits d'épuisement, et mues par une machine spéciale de 30 chevaux.

On leur garantit une paye journalière de 16 sgr., soit 2 fr. mais la plupart d'entre eux gagnent 20 à 25 sgr., soit 2^{fr},50 à 3 fr., et même davantage.

Extraction. — L'extraction se fait par le puits Manteuffel dans des wagons en tôle, placés par groupes de deux dans des cages doubles, guidées, munies de parachutes à excentriques, et reçues au jour à deux places d'accrochage correspondantes, situées verticalement à 2 mètres l'une de l'autre. Les câbles sont très-soignés; ils ont une âme en chanvre et sont à 24 brins en fil de fer de première qualité, goudronnés isolément.

La machine d'extraction, forte de 150 chevaux, est horizontale, à détente, mais sans condensation.

Les vastes dimensions des galeries permettent de ne pas subordonner l'extraction à l'abatage; ce fait est d'une grande importance pour la Carnallite, qui, vu son extrême déliquescence, ne pourrait pas être conservée en magasin, tandis qu'elle peut séjourner sans trop d'inconvénients quelques jours dans la mine.

On n'en extrait donc, chaque jour, que rigoureusement la quantité correspondant à la consommation des usines; la proportion de sel gemme extraite est déterminée par cette même condition, et diminue par suite à mesure que l'exploitation se développe.

Voici quelques chiffres qui feront comprendre l'importance de cette extraction dans la mine de Stassfurt :

	Carnallite.	Sel gemme.
Année 1861.	4,350 tonnes.	5,130 tonnes.
Année 1862.	17,250 —	"
Janvier 1863.	3,290 —	"
Année 1863, tout entière. .	40,000 —	42,500
Premier trimestre, 1864. .	15,000 —	"

Dans le duché d'Anhalt, où les conditions géologiques des gisements et l'installation de la mine reproduisent, presque trait pour trait, celles de Stassfurt, la production de la Carnallite s'est accrue plus rapidement encore : elle a atteint 18.000 tonnes dans le premier trimestre 1864, tandis que celle du sel gemme, limitée par la consommation du petit-duché, est restée sensiblement constante, et s'élève annuellement à 1.500 tonnes environ seulement.

La production totale des deux mines, pendant l'année 1864, a été :

	Tonnes.
Carnallite.	175,000
Sel gemme.	50,000

III. — Épuisement. — Aérage.

L'épuisement ne joue, à Stassfurt, qu'un rôle tout à fait secondaire, le volume des eaux d'infiltration dans la mine ne s'élevant pas au-dessus de 0^m,3 par minute; malgré cela on a installé, pour la sécurité de la mine, sur le puits Von der Heydt, une belle machine d'épuisement à simple effet, à traction directe et à haute pression, de la force de 200 chevaux. Elle ne fonctionne que pendant quelques heures chaque nuit, et amène les eaux à l'étage supérieur des pompes; de là elles sont élevées au jour par une petite machine installée sur un puits spécial (*Hülfschacht*, P'', fig. 4).

L'aérage n'a également qu'une importance tout à fait secondaire; on a simplement établi, au-dessus d'une des grandes galeries d'allongement, un petit boyau servant au retour de l'air; celui-ci entre alors dans la mine par le puits d'extraction et en ressort par le puits d'épuisement, après avoir circulé à travers les travaux. Les appréhensions, fort légères d'ailleurs, causées pendant quelque temps par le faible dégagement du gaz hydro-carburé dont nous avons parlé plus haut, et qui se rencontrait surtout dans la zone des sels déliquescents, se sont promptement dissipées, et

l'aérage de la mine suffit pour en assurer, sous ce rapport, la parfaite salubrité.

Le nombre des ouvriers employés, en 1863, aux travaux du jour était de 51, répartis comme il suit :

Machinistes.	12
Chauffeurs.	8
Bouleurs et receveurs.	21
Ménagers, forgerons, etc.	10
	<hr/>
	51

Le nombre total des ouvriers de la mine était donc de 304 ; il a peu varié depuis cette époque.

CHAPITRE V.

PRÉPARATION MÉCANIQUE DES MATIÈRES EXTRAITES.

I. — *Sel gemme.*

Le sel gemme subit, au sortir de la mine, une préparation mécanique extrêmement simple. Une partie est livrée au commerce, telle qu'elle sort de la mine, à l'état de blocs, qui sont directement déversés, à la recette même, dans les wagons du chemin de fer de Magdebourg ; tout le reste, et c'est de beaucoup la plus forte fraction, subit, avant d'être vendu, un broyage énergique.

Cette opération est effectuée dans des broyeurs verticaux en fer, dont la construction est identique à celle des moulins à café, et qui peuvent traiter par heure, chacun 1^h,23 environ de sel.

Au sortir de ces appareils, qui sont installés au niveau de la recette, le sel passe sous des meules ordinaires en pierre, à axe vertical, situées à l'étage inférieur, et qui l'amènent à un degré de finesse variable avec les usages auxquels il est destiné.

En 1863, 4 broyeurs et 8 meules suffisaient pour le trai-

tement du sel fourni par l'exploitation ; depuis cette époque on a ajouté encore un broyeur et deux meules, en sorte que, dans l'état actuel, l'atelier peut suffire à une consommation annuelle (305 jours) de 50,000 tonnes.

Le sel ainsi produit n'est point pur ; il renferme, comme nous l'avons vu, 95,5 de chlorure de sodium, et 4,5 environ d'anhydrite que l'on ne peut enlever par triage à la main. Si nous comparons ces chiffres à ceux que M. Heine indique pour la richesse, en chlorure de sodium, du sel obtenu par évaporation dans les diverses salines du même bassin, savoir :

Durrenberg.	95,79 p. 100
Halle.	95,81 —
Schönebeck.	95,40 —
Artern.	94,81 —

nous voyons que le sel broyé de Stassfurt possède à peu près la richesse moyenne de ceux obtenus par évaporation. Malgré cela, à prix égal (car le gouvernement prussien vend au même taux les sels de toute provenance), les populations manifestent à l'emploi du sel gemme, pour les usages domestiques, une répugnance à peu près invincible.

M. Bischof explique cette répugnance en faisant observer, que, le sel gemme ayant une densité supérieure à celle du produit de l'évaporation, et l'estimation de la quantité du sel qu'il faut ajouter aux aliments se faisant toujours au volume, la substitution du sel naturel au sel artificiel provoque, dans les traditions culinaires, des troubles auxquels la partie intéressée ne veut pas se résigner. Nous pensons plutôt que la cause, si toutefois elle existe, se trouve dans le fait que la substance étrangère, mélangée au sel gemme de Stassfurt, est de l'anhydrite pure, plus riche en chaux et beaucoup moins soluble que le gypse, et qui laisse, comme nous avons pu nous en convaincre nous-même, un résidu léger, mais appréciable sur la langue.

Quoi qu'il en soit, on a cherché à se débarrasser mécani-

quement de l'anhydrite, en projetant, à l'aide d'un puissant jet d'air, le sel broyé dans une chambre de 30 mètres de longueur. On espérait que le dépôt des matières s'effectuerait, par ordre de densité, à des distances différentes de l'orifice du soufflet, et qu'ainsi le sel gemme et l'anhydrite seraient séparés, au moins approximativement. Malheureusement, l'expérience a montré qu'une longueur de 30 mètres était insuffisante pour opérer la séparation désirée, et les essais furent provisoirement abandonnés. On se proposait, lors de mon séjour à Stassfurt, de les recommencer dans une chambre de plus grande dimension, mais on ne paraît pas avoir donné suite à ce projet.

En revanche, on effectue, chaque fois que cela est possible, un triage à la main extrêmement soigné, et l'on réserve pour les usages domestiques la plus grande partie du sel très-pur ainsi obtenu. Mais, quoique ce dernier ne renferme plus que 1 p. 100 environ d'anhydrite, il éprouve encore, sans doute à cause du motif indiqué par M. Bischof, de grandes difficultés à se faire accepter par les habitants, et sa consommation ne représente pas le trentième de celle du royaume. Aussi la plus grande partie de la production du sel gemme de Stassfurt est-elle destinée à deux autres usages, pour lesquels le gouvernement consent à le livrer presque à prix coûtant : la consommation des animaux et la fabrication du sulfate de soude.

Le sel destiné à la consommation des animaux est mélangé avec 0,5 p. 100 d'oxyde de fer, et une quantité égale de poussier de charbon, qui ont pour but d'empêcher les habitants de profiter de son bas prix et de s'en servir pour les usages domestiques. Mais ces précautions sont, à ce qu'il paraît, insuffisantes pour prévenir la fraude, et il y aurait peut-être lieu de leur ajouter celle qui a pleinement réussi dans le Salzkammergut du Tyrol, et qui consiste dans l'addition de 0,25 p. 100 de racine de gentiane. Cette substance présente, en effet, l'avantage d'être à la fois saine et

d'un goût agréable pour les animaux, tandis que son amertume la rend complètement impropre à entrer dans l'alimentation humaine.

Le sel ainsi préparé est vendu, tantôt simplement broyé, tantôt aggloméré en pains cylindriques percés, suivant leur axe, d'un trou qui sert à les fixer à une tige plantée dans le sol de l'étable. Ces pains, qui pèsent 4 kilogrammes, et qui portent la dénomination expressive de *lecksteine* (pierres à lécher), se répandent de plus en plus, et le chiffre moyen de leur vente annuelle avait déjà dépassé un demi-million en 1862.

Quant au sel destiné à l'industrie, on ne lui fait subir aucune préparation ultérieure; on le livre aux usines, tantôt broyé, tantôt en fragments irréguliers, tels qu'ils sortent de la mine, tantôt, pour répondre à certaines commandes spéciales, à l'état de sel de choix (*krystallsalz*) obtenu, comme nous l'avons dit, par un triage à la main plus soigné.

Pour terminer ce qui est relatif au sel gemme, nous empruntons au travail de M. Bischof quelques données statistiques sur le placement industriel des divers produits dont nous venons de parler.

Avant l'année 1851, la production annuelle du sel gemme n'était, en Prusse, que de 107.000 tonnes environ, tandis que la consommation, pour les seuls usages domestiques, dépassait 128.000 tonnes (7^k,7 par habitant), d'où il résultait une importation de près de 50.000 tonnes de sels étrangers. Depuis la découverte et l'exploitation du gisement de Stassfurt, la production s'est élevée à plus de 175.000 tonnes, si bien que non-seulement la Prusse s'est affranchie, à cet égard, complètement de l'importation étrangère, mais qu'elle a même exporté, dans les deux dernières années, des quantités considérables de sel dans le Schleswig-Holstein et en Hollande, et tout récemment en Angleterre.

Les différentes variétés de sel gemme, livrées annuellement à la consommation et à l'industrie par le gisement de

Stassfurt, peuvent s'échelonner comme il suit, en prenant comme base la production moyenne pendant les trois années 1861-1863 :

	Tonnes.
Sel destiné aux usages domestiques.	4.750
— à la nourriture des animaux.	2.705
— aux fabriques de soude et autres.	27.945
Solt, en tout.	42.400

Cette répartition s'explique, non-seulement par la répugnance des populations à l'emploi du sel gemme, mais encore par le bas prix auquel le gouvernement prussien consent à abandonner ces deux derniers produits.

En effet, d'après un renseignement oral qui nous a été fourni lors de notre visite à la mine (et qui doit être un peu exagéré, car il serait difficile de croire à un bénéfice aussi minime), le prix de revient s'élève pour le sel en blocs à 2 Sgr. 5 pf. par quintal de 50 kil., soit 6',04 par tonne, tandis que les prix de vente étaient, alors comme maintenant, officiellement fixés de la manière suivante :

	Sgr. Pf.	le quintal de 50 kil., soit	Fr.
Sel gemme ordinaire, en blocs.	2 6	—	6,25 par tonne.
— broyé.	3 8	—	7,50 —
Sel gemme de choix (krystallisch), en blocs.	5 10	—	14,75 —
Sel gemme de choix broyé.	6 6	—	13,75 —
Sel pour les animaux, broyé.	3 8	—	20,00 —
— en pains cylindriques (leckstein),	11 6	—	31,25 —
Sel de choix, broyé pour les usages domestiques, 3 Thalers.	90 8	—	237,50 —

La disproportion complète de ce dernier chiffre avec les précédents s'explique par le monopole de l'État, pour lequel, comme dans presque tous les pays d'Europe, la vente du sel constitue une source important

II. — Carnallite.

Une partie de la Carnallite subit, et livrée aux usines, une préparation

celle du sel gemme; seulement, comme elle est destinée à être dissoute, la finesse de son grain a une importance beaucoup moindre, et le second broyage devient inutile. L'atelier est alors réduit à un seul étage, dans lequel sont installés, aujourd'hui, sept broyeurs en fer de 0^m,40 de diamètre, analogues à ceux du sel gemme, et pouvant traiter chacun 30 tonnes en 24 heures; ces appareils suffiraient donc pour broyer 63.000 tonnes environ par an, c'est-à-dire la totalité de la production actuelle.

Mais quelques usines, entre autres le grand établissement de M. Grüneberg, consomment le sel en blocs, tel qu'il sort de la mine, et ce procédé, qui diminue l'importance du broyage, tend à se répandre de plus en plus à Stassfurt.

Dans l'un et l'autre cas, le sel, soit broyé, soit en blocs, est rapidement chargé dans des wagons fermés, et envoyé aux usines, où sa grande déliquescence oblige à le soumettre immédiatement aux traitements ultérieurs qui en font un produit marchand. Une prise d'essai, faite chaque jour à l'instant de l'emballage, permet d'en déterminer la richesse en chlorure de potassium; on a trouvé pour cette dernière, dans la deuxième quinzaine de janvier 1863, successivement: 16, 15, 14, 16, 15, 16, 16, 17, 18, 19, 17, 18, 18 et 16 p. 100; soit en moyenne, 16,5 p. 100.

D'ailleurs la composition moyenne des 125.000 tonnes de Carnallite livrée en 1864 aux usines par les deux mines de Stassfurt et d'Anhalt a été :

Chlorure de potassium.	17,5	(15 à 20)
Chlorure de sodium.	22,0	
Chlorure de magnésium.	23,5	
Sulfate de magnésie.	9,0	
Eau.	28,0	
	<hr/>	
	100,0	

Nous ne possédons point de données précises sur le prix de revient de la Carnallite. Le renseignement oral que nous avons reçu à Stassfurt le faisait varier, pour 1863, de

3 Sgr. 6 pf. à 4 Sgr. par quintal de 50 kil., soit de 8^f,75 à 10 francs par tonne.

En essayant de l'établir directement d'après les éléments qui le composent, on arrive au résultat suivant :

	Fr.
Abatage, 0 ^m ,75 à 2 ^f ,90, en moyenne.	2,20
Triage et transport des rebuts.	3,00
Extraction et entretien.	0,80
	<hr/> 6,00

A ce chiffre il faut ajouter tous les frais généraux et de surveillance, qui nous sont inconnus, et qui feraient arriver à un total peu inférieur à celui que nous venons d'indiquer.

Quant au prix de vente, il varie avec la teneur en chlorure de potassium. On considère comme sel riche celui où cette dernière est égale ou supérieure à 18 p. 100, et comme sel ordinaire celui dont la teneur moyenne s'abaisse à 15 p. 100. Ces deux catégories étaient livrées aux usines en 1863 aux conditions suivantes :

	Ngr. Pf.		Fr.
Sel riche, en blocs.	8 6	le quintal de 50 kilogr., soit	21,25 la tonne.
— broyé	9 3	—	23,15 —
Sel ordinaire, broyé.	7 »	—	17,50 —

D'après ces chiffres, le bénéfice moyen du gouvernement prussien aurait été de 10 à 12 francs par tonne de Carnallite.

Ces prix furent maintenus jusqu'au commencement de l'année courante, où une première réduction de 2 fr. à peu près eut lieu ; la valeur du sel moyen en blocs fut alors fixée à 7 Sgr. le quintal, soit 17^f,50 la tonne ; dans les premiers jours d'avril, un deuxième rabais réduisit ce prix à 6 Sgr. 6 pf. le quintal, soit à 16^f,25 la tonne ; enfin les derniers renseignements que nous recevons de Stassfurt mentionnent une nouvelle diminution et annoncent que le gouvernement prussien, d'accord avec celui du duché d'Anhalt, consentira sous peu à fixer comme suit le prix de vente :

Sel moyen en blocs 3 Sgr. le quintal de 50 kilog., soit 12^f,50 la tonne.

Son bénéfice moyen serait alors de 2^f,50 à 3 francs seulement par tonne.

CHAPITRE VI.

TRAITEMENT INDUSTRIEL DE LA CARNALLITE.

La forte proportion de magnésium contenue dans la carnallite ne permet l'utilisation directe de cette dernière que dans des cas extrêmement rares ; aussi la presque totalité du sel fourni par les mines est-elle transformée immédiatement en chlorure de potassium par, dans dix-huit usines groupées autour des deux centres d'exploitation, et reliées à ces derniers par des chemins de fer, qui établissent une communication directe entre l'atelier de broyage et les chaudières de dissolution.

Le traitement industriel de la Carnallite, fort simple en théorie, présente de grandes analogies avec celui qui sert à extraire le chlorure de potassium des eaux mères des marais salants. Il est basé uniquement sur la différence de solubilité des divers éléments qui constituent le sel livré aux usines, et comprend les opérations suivantes :

1° Une dissolution à chaud de la Carnallite, qui sépare principalement le sulfate de magnésie et le chlorure de sodium ;

2° Une cristallisation lente, par évaporation et refroidissement, qui précipite des eaux mères une partie du chlorure de potassium ;

3° Une concentration des eaux mères par la chaleur, suivie d'une seconde précipitation de chlorure de potassium par évaporation et refroidissement ;

4° Un traitement analogue des nouvelles eaux mères, qui abandonnent, par refroidissement, de la Carnallite artifi-

cielle, dont on extrait encore du chlorure de potassium par dissolution et cristallisation ;

5^e Un enrichissement par lavages des chlorures précipités, suivis du séchage et de l'embarillage des sels marchands ainsi obtenus.

A ces opérations principales, il faut ajouter toutes celles qui permettent d'utiliser les produits accessoires, et qui, toujours variables d'une usine à l'autre, prennent une importance croissante avec l'énergie de la concurrence.

L'ensemble de ce traitement présente dans l'application deux types principaux :

Dans le premier, représenté par l'usine Grüneberg, on a surtout en vue l'économie de l'installation et de l'outillage, la rapidité du travail et l'augmentation de la production. On y traite le sel en blocs, tel qu'il sort de la mine pour économiser les frais de broyage, et l'on obtient finalement une fabrication rapide et économique.

Mais ces avantages sont partiellement compensés par les soins plus considérables qu'il faut y apporter à la purification des produits, et par l'importance et la richesse des produits accessoires et des déchets.

Dans le second, représenté par l'usine Douglas, on recherche principalement l'utilisation complète des matières premières, la régularité de la fabrication et la pureté des produits. On y traite le sel broyé et l'on obtient, avec une dépense de main-d'œuvre un peu plus faible, des produits d'un enrichissement facile, et des déchets moins importants et mieux appauvris. En revanche, les frais de première installation et d'outillage sont plus élevés, la consommation de combustible un peu plus forte et la production moins active que dans le type précédent. Aussi, tant que les déchets et les produits accessoires n'avaient que peu ou point de valeur, les avantages et les inconvénients de ces deux méthodes se faisaient à peu près équilibre, mais aujourd'hui que tous ces produits sont utilisés et ont une impor-

tance réelle, il y a un avantage marqué en faveur de la première, et c'est elle sans doute qui finira par prévaloir à Stassfurt. D'ailleurs, comme nous l'avons déjà dit, les deux méthodes donnent lieu aux mêmes séries d'opérations, n'entraînent que des modifications de détail et peuvent être comprises dans une description commune. Celle que l'on va lire se rapporte surtout aux usines Douglas et Grüneberg que nous venons de citer, et les renseignements sur lesquels elle s'appuie sont dus en grande partie aux obligeantes communications de M. Nivoit et de M. Grüneberg lui-même.

I. — *Dissolution de la Carnallite.*

La Carnallite, amenée dans des wagons fermés jusqu'en face du massif des cuves en fonte où s'opère sa dissolution, est introduite dans ces dernières aussi rapidement que possible, après son déchargement. Aussitôt après, on ajoute au sel les trois quarts environ de son poids d'une eau provenant d'une des opérations subséquentes, et chargée de chlorure de sodium et d'un peu de chlorure de potassium; en même temps on fait arriver dans la cuve, par un tube annulaire T placé à l'intérieur de cette dernière, un jet de vapeur à 120 degrés.

Dans l'usine Grüneberg, les cuves de dissolution n'ont que 6 pieds sur 4, et contiennent 2¹/₅ seulement de Carnallite; elles sont ouvertes et un ouvrier est occupé à remuer les matières pour en activer la dissolution.

Dans l'usine Douglas, les cuves sont plus vastes et peuvent contenir 20 tonnes de sel à la fois (fig. 5, 6, 7). De plus, la grande homogénéité du sel broyé qu'on y traite permet de substituer, au mélange à la main, un brassage mécanique, effectué à l'aide d'un arbre en fer, muni de palettes C et placé dans l'axe de la cuve.

Cette dernière peut alors être fermée, ce qui permet de

mieux concentrer la chaleur; on ouvre seulement à la partie supérieure un robinet *r* pour la sortie de la vapeur en excès.

L'agitation du bain dure trois heures, après lesquelles on laisse reposer la dissolution pendant deux jours; au bout de ce temps l'eau est entièrement saturée de chlorures de potassium et de magnésium, et marque 32° à l'aréomètre de Baumé. A ce moment, le robinet *r* étant fermé, on en ouvre un autre *r'*, placé à la partie inférieure de la cuve, et la pression de la vapeur fait passer la dissolution à travers un siphon *s* dans l'atelier de cristallisation.

Le résidu, qui s'élève environ au tiers de la charge primitive, est traité diversement suivant les usines. Dans le principe, il était directement rejeté dans quelques-uns des établissements de Stassfurt; aujourd'hui il est, en général, soumis une deuxième et même une troisième fois à un traitement analogue au précédent, la dernière dissolution étant alors faite avec de l'eau pure.

Le résidu final présente une composition qui varie nécessairement avec la nature de la Carnallite et le mode de lavage. Il est toujours un peu plus riche en potassium quand on traite le sel non broyé, et l'on peut admettre qu'il renferme, en moyenne, les éléments suivants :

	M. Bischof.	M. Gröneberg.
Sulfate de magnésie, avec un peu de sulfate de chaux.	33,9	30 à 35
Chlorure de sodium.	54,1	50 à 55
Chlorure de potassium.	2,1	6
Chlorure de magnésium.	3,0	5
Eau.	5,6	5
Résidu insoluble dans l'eau.	0,3	2
	100,0	100

Cette substance a été longtemps sans emploi; dans les premiers temps on la faisait disparaître en la jetant à la rivière; plus tard on a été obligé de l'accumuler autour des usines, où elle commence à former des haldes de plus en plus embarrassantes.

Mais comme son abandon donnait naissance à une perte,

en chlorure de potassium, de 1 à 1,5 p. 100 du poids total de la Carnallite dissoute, soit de 5 à 7,50 p. 100 du chlorure de potassium qu'elle renfermait, on a commencé dans ces derniers temps, à l'usine Grüneberg, à l'utiliser pour la préparation du sel de Glauber. On dissout pour cela le résidu dans de l'eau à 40° cent., et l'on soumet la liqueur, pendant la nuit, au froid atmosphérique. Il se dépose, surtout en hiver, une proportion abondante de sel de Glauber, et les eaux mères sont définitivement rejetées.

Cette fabrication paraît avoir de bons résultats, mais le peu de débouchés de son produit ne permettra jamais de lui donner une extension suffisante pour l'utilisation complète des résidus du lavage.

II. — *Cristallisation et lavage.*

A leur sortie des chaudières de dissolution, les eaux mères, qui renferment des chlorures de potassium, de magnésium, de sodium et de très-faibles quantités de sulfate de magnésie, sont reçues dans les cristallisoirs, placés dans l'atelier voisin. Ces derniers, construits en tôle ou en bois, ont tantôt la forme de bassins larges et peu profonds (usine Grüneberg), tantôt celle de grandes cuves cylindriques en bois, ayant 1 mètre à 1^m,20 de diamètre sur 1^m,50 à 1^m,90 de hauteur (usine Douglas).

Les liqueurs s'y refroidissent, et bientôt il se forme, le long des parois et sur le fond des cuves, un dépôt abondant, composé principalement de chlorure de potassium mélangé d'un peu de chlorure de sodium, et fortement imprégné de chlorure de magnésium. On a remarqué une différence entre les sels qui se précipitent au fond de la cuve et ceux qui s'attachent le long des parois. Les premiers sont les plus purs, et ne renferment guère que 55 à 60 p. 100 de chlorure de potassium, tandis que la teneur des seconds s'élève à près de 70 p. 100.

Au bout de quatre jours, le dépôt de sel s'élève à l'usine

Douglas, où l'on se sert de cuves profondes, à 7,5 p. 100 environ du poids de la Carnallite, soumise à la dissolution, soit à 1.500 kilogrammes; à l'usine Grüneberg, où l'on emploie des cristallisoirs plats, l'opération est beaucoup plus rapide et, par suite, un peu plus économique; de plus, le sel obtenu est en cristaux plus fins, et, par suite, mieux appropriés que celui des cristallisoirs profonds à la transformation en sulfate (*). En revanche, il est un peu moins pur qu'à l'usine Douglas, et exige des lavages plus longs et plus soignés. Toutes ces circonstances n'ont d'ailleurs qu'une importance secondaire, et ne paraissent pas influencer sur la valeur du produit final. Les eaux mères, qui renferment encore des quantités notables de chlorure de potassium, sont alors décantées à l'aide de siphons et conduites, tantôt dans le réservoir des eaux à évaporer, tantôt directement dans les chaudières où se fait cette évaporation.

Quant au sel des cristallisoirs, il est amené à une teneur de 80 p. 100 par des lavages à l'eau pure. L'opération se fait dans des caisses en tôle à fond incliné. Au bout d'une heure de séjour sur les sels, l'eau s'est chargée de la plus grande quantité du chlorure de magnésium imprégnant, et d'un peu de chlorure de potassium et de sodium; on la laisse alors couler par un robinet placé au bas de la cuve et on la recueille avec les eaux mères précédentes.

Un seul lavage suffit pour amener à 80 p. 100 le chlorure impur provenant des parois des grands cristallisoirs; il en faut deux pour celui qui vient du fond; on ajoute à ce dernier la petite quantité de sel qui se dépose, pendant le refroidissement, dans le réservoir des eaux à évaporer. —
le sel obtenu dans les cristallisoirs plats de l'usi

(*) Quand le sel est en grains très-fins, on peut en composer par l'acide sulfurique concentré à 60 degrés à craindre la formation du bisulfate, qui prend naissance dès que les cristaux ont un certain développement, et de grands obstacles à la purification du sel.

berg ne renferme guère que 55 à 60 p. 100 de chlorure de potassium, et exige toujours deux, et quelquefois trois lavages pour être amené à la teneur normale.

D'ailleurs, il paraît y avoir intérêt aujourd'hui, pour les fabricants, à augmenter la richesse de leurs produits, et à livrer au commerce du sel renfermant 85 et même 87 p. 100 de chlorure de potassium pur. Il ne semble pas qu'il y ait avantage à pousser l'enrichissement au delà de cette teneur, qui, du reste, est encore exceptionnelle à Stassfurt, la plus grande partie des sels vendus étant à 80 p. 100 seulement.

III. — *Traitement des premières eaux mères.*

La concentration des eaux mères de la cristallisation et du lavage se fait dans des chaudières variables de formes et de dimensions, et chauffées tantôt à feu nu, tantôt par des courants de vapeur circulant à travers la dissolution.

Chaudières à feu nu. — L'évaporation, dans les chaudières à feu nu, présente différents types suivant les usines. Dans l'établissement appartenant à une compagnie anglaise que nous avons visité, la concentration avait lieu dans deux grandes chaudières chauffées presque entièrement par les flammes perdues des générateurs placés dans l'atelier contigu. Elle durait deux jours, au bout desquels les eaux mères, ramenées par des pompes dans les cristallisoirs, donnaient une nouvelle quantité de chlorure de potassium, un peu moins pur que le précédent, et qu'on amenait par lavages à la teneur normale. Les eaux mères appauvries étaient, d'après ce que l'on nous a assuré, directement jetées à la rivière. Si ce renseignement est exact, il devait résulter de cette opération une perte en chlorure de potassium, d'une valeur bien supérieure à l'économie faite sur la main-d'œuvre et le combustible.

Dans l'usine de M. Grüneberg, on effectue la concentration dans de petites chaudières en tôle de 2 mètres cubes seu-

lement, chauffées à feu nu, et l'on soumet les eaux mères de la deuxième cristallisation à un traitement ultérieur, dont nous parlerons en détail dans un instant.

Enfin, dans d'autres usines, on emploie simultanément des chaudières de 6 à 8 mètres, chauffées par les flammes perdues, où le tiers des eaux est partiellement concentré, et d'autres plus grandes, de 16 mètres environ, chauffées directement, et dans lesquelles toutes les eaux sont définitivement amenées à la concentration nécessaire pour la cristallisation.

Le combustible employé est du lignite, qui provient d'une exploitation voisine, faite à ciel ouvert, et dont le prix est extrêmement bas (5^f,70 la tonne); mais comme il brûle assez difficilement, on est presque toujours obligé de lui ajouter 1/13 à 1/10 de son poids de houille, qui revient, livrée à Stassfurt, à 16 francs la tonne. Quelques usines pourtant sont parvenues à se dispenser de cette pratique onéreuse, et, à l'usine Grüneberg, par exemple, on ne consomme que du lignite, sans aucun mélange de combustible plus coûteux.

Pour éviter de chauffer directement le fond de la chaudière, sur lequel se fait, pendant la concentration, un abondant dépôt de chlorure de sodium, les flammes passent dans des carneaux C placés latéralement (*fig. 8*); outre cette précaution, un ouvrier est obligé de remuer constamment le bain avec des râbles, pour empêcher que le sel ne se dépose sur les parois.

On continue la concentration pendant 50 heures environ, jusqu'à ce que le liquide soit réduit à peu près aux 2/3 de son volume, et marque 33 degrés à l'aréomètre de Baumé; d'ailleurs, pour que la chaudière reste toujours remplie, on remplace la portion évaporée par une quantité de liquide, fourni par l'eau mère, déjà partiellement concentrée dans les réservoirs chauffés par les flammes perdues. Grâce à cette combinaison, la consommation du

n'est, à l'usine Douglas, que de 1.250 kilogr. de lignite et 120 kilogr. de houille pour la concentration de 22 mètres cubes d'eau mère, ce qui donne la proportion assez élevée de 5^l,15 d'eau vaporisée par kilogramme de charbon. Quand l'opération est achevée, on fait écouler par les robinets R et R', d'une part les eaux mères, qui vont aux cristallisoirs, et de l'autre le sel qui s'est déposé pendant la concentration, et qui renferme 60-65 pour 100 de chlorure de sodium, 6 pour 100 de chlorure de potassium, et 30 pour 100 d'un sulfate double de potasse et de magnésie, auquel M. Gröneberg attribue la formule (*)



Chaudières chauffées par un courant de vapeur. — Dans quelques usines, pour éviter les frais de main-d'œuvre occasionnés par le râblage, on a remplacé le chauffage à feu nu par un système de quatre tubes, T (fig. 9 et 10), parallèles au grand côté de la chaudière, dans lesquels circule un courant de vapeur. Ces tubes, après avoir traversé le bain dans toute sa longueur, viennent s'ouvrir dans un double fond α, d'où la vapeur s'échappe par un tube T' situé à l'extrémité antérieure. La concentration est poussée au même point qu'auparavant; mais elle s'effectue beaucoup plus vite, et les 5 mètres cubes, que renfermait d'abord la chaudière sont réduits en moins de 4 heures à 3^m,40 environ. On laisse le sel se déposer librement jusqu'à la fin de l'opération, puis on l'enlève par un robinet situé à la partie infé-

(*) Cette formule est en désaccord avec celle du dépôt analogue qui se produit dans le traitement des eaux mères des marais salants. Ce dernier, en effet, est représenté par



mais, comme nous ne connaissons point l'origine de cette divergence, si toutefois elle existe, nous ne pouvons que mentionner ici, sous toutes réserves, l'opinion de M. Gröneberg.

rieure de la cuve; il contient, comme précédemment, le sulfate double et une grande partie du chlorure de sodium dissous, mais il ne renferme que 3 p. 100 de chlorure de potassium.

La comparaison de ces méthodes est assez délicate; l'économie de main-d'œuvre dans la seconde compense à peu près la plus grande consommation de combustible, et leur valeur relative dépend surtout du traitement ultérieur du sel précipité.

Quand on cherche à en extraire le chlorure de potassium par lavage, il y a intérêt à ce que ce dernier soit en faible proportion dans le mélange, la perte par les résidus augmentant avec le teneur.

Dans ce cas, les eaux de lavage, saturées de chlorure de sodium et renfermant les $\frac{3}{4}$ environ des sels de potasse contenus dans le dépôt, servent, ainsi que nous l'avons dit en commençant, à la première dissolution de Carnallite, et l'on ne rejette que le résidu insoluble, composé de sulfate de magnésie, de chlorure de sodium et de 1-2 p. 100 de chlorure de potassium.

Mais depuis quelque temps on utilise ce dépôt d'une manière bien plus avantageuse, en le livrant comme engrais à l'agriculture: il y a alors, au contraire, tout avantage à favoriser l'accroissement de sa teneur en potasse, et dans ce cas le chauffage à feu nu doit être évidemment préféré.

Quant aux liqueurs concentrées, elles sont ramenées par les pompes dans les cristallisoirs, où elles donnent, par refroidissement:

1° Une nouvelle quantité de chlorure de potassium, un peu moins pur que le premier (50-60 p. 100) et qui a besoin, comme celui des cristallisoirs plats, de deux à trois lavages pour être amené à la teneur de 80 p. 100

2° De nouvelles eaux mères dont il nous reste le traitement.

IV et V.— *Traitement des secondes eaux mères et de la Carnallite artificielle; lavage, séchage et emballage du sel marchand.*

Les eaux mères de la seconde cristallisation sont concentrées comme les premières, et donnent lieu, pendant cette opération, à des dépôts analogues aux précédents; seulement, comme on désire cette fois enlever par la cristallisation suivante tout le potassium des liqueurs soumises à la concentration, cette dernière est poussée jusqu'à 35 degrés Baumé, circonstance qui augmente un peu la richesse du dépôt en chlorure de potassium. Dans l'usine Grüneberg, cette richesse est assez grande pour qu'en réunissant le sel au précédent on obtienne un mélange dont la teneur en potasse s'élève à 10 p. 100. Dans cet état il fournit un excellent engrais, et M. Grüneberg estime que, dans le courant de l'année 1865, sa consommation ne s'élèvera pas à moins de 2.000 à 2.500 tonnes.

Les deuxièmes eaux mères sont encore ramenées, après leur concentration, dans les cristallisoirs; où on les laisse reposer pendant quatre à cinq jours cette fois; elles abandonnent alors par refroidissement la presque totalité du chlorure de potassium qu'elles renfermaient, mais, comme elles sont très-riches en magnésium, le dépôt n'a plus lieu à l'état de chlorure simple, et il se forme, sur les parois des cuves, de beaux cristaux de Carnallite artificielle. Les liqueurs décantées ne renferment plus que $1/2$ à 1 p. 100 de potassium, et sont jetées à la rivière.

Le traitement de la Carnallite artificielle est analogue à celui du produit naturel; mais, à cause de l'absence presque complète de sels insolubles, il est à la fois plus simple et beaucoup plus rapide.

La dissolution se fait dans des cuves plus petites, renfermant trois tonnes de sel au plus; elle est achevée au bout de trois heures, et après deux autres heures de repos, la liqueur est amenée de nouveau dans les cristallisoirs.

Comme elle ne contient plus qu'une très-petite quantité de chlorure de sodium, le chlorure de potassium qui se dépose dans les cuves est beaucoup plus pur que le premier, et ne renferme plus que du chlorure de magnésium, que l'on peut enlever en grande partie par des lavages. On arrive ainsi facilement à avoir un sel renfermant 85 à 90 p. 100 de chlorure de potassium. Comme pour le produit de la première cristallisation, il ne paraît pas y avoir avantage à l'enrichir au delà de cette limite.

Quant aux eaux mères de cette dernière opération, elles renferment, suivant M. Bischof :

Sulfate de magnésie.	2,5
Chlorure de sodium.	0,2
Chlorure de potassium.	2,3
Chlorure de magnésium.	30,2
Eau.	64,8
	<hr/>
	100,0

Elles sont provisoirement encore rejetées, mais on fait, en ce moment, des essais pour en retirer les sels de magnésie dont on fait usage dans le commerce.

Le chlorure de potassium lavé est rapidement séché tantôt (usine de M. Grüneberg) dans un four à réverbère où il subit une véritable calcination, tantôt sur la sole liquide d'une chambre chauffée par des tuyaux dans lesquels passent les produits de combustion du lignite, ce qui a lieu à l'usine de M. Douglas.

Dans cette dernière on traite simultanément six tonnes de sel qui sont desséchées en vingt-quatre heures, ce qui exige une consommation de 600 kil. de lignite et une durée d'œuvre de deux journées.

Après la dessiccation, le sel est concassé, criblé, et rempli dans des tonneaux en sapin, pouvant en contenir 500 kil. environ, puis chargé, à l'usine même, dans des wagons du chemin de fer de Magdebourg, qui le transportent aux différents marchés de l'Europe.

VI. — *Produits accessoires. — Consistance des usines. — Prix de revient et de vente.*

D'après ce qui précède, on voit que les opérations qui produisent le chlorure de potassium, très-simples en théorie, présentent, en pratique, d'assez grandes complications. Ces dernières tendent plutôt à augmenter qu'à diminuer, la concurrence fiévreuse des dix-huit usines rivales ne permettant plus de négliger les sources de bénéfices même les plus minimes, et d'abandonner, comme on le faisait dans le principe, des matières d'où l'on peut encore retirer un produit marchand, même avec un très-faible avantage. Sous ce rapport, il reste certainement bien des perfectionnements à réaliser, car, dans l'état actuel de la fabrication, les pertes en chlorure de potassium s'élèvent encore au tiers de la quantité totale de ce corps contenu dans la Carnallite soumise au traitement.

Aussi l'utilisation des produits accessoires est-elle devenue le but de tous les perfectionnements, et la source la plus féconde des bénéfices de la fabrication. C'est également à cet ordre d'idées qu'il faut rattacher les essais, faits dans deux usines à Stassfurt, pour tirer parti de la Kieserite abandonnée jusqu'ici à l'intérieur de la mine. L'une d'elles ne paraît être sortie de la période d'études que pour renoncer à la fabrication; l'autre, celle de MM. Vorster et Grüneberg est arrivée depuis peu à transformer, par double décomposition, le chlorure de potassium qu'elle produit et le sulfate de magnésie de la Kieserite en chlorure de magnésium et sulfate de potasse. Cette fabrication, qui s'effectue par voie humide, et dont les détails sont tenus secrets, donne d'abord un sulfate double de potasse et de magnésie, qui tantôt est transformé par lavages en sulfate simple, dont on pousse l'enrichissement jusqu'à 95 p. 100, tantôt destiné à entrer directement dans la composition des engrais, comme le dépôt des chaudières de concentration.

C'est là un important progrès qui contribuera, dans une large mesure, à étendre la prospérité et l'influence de l'usine qui est arrivée à le réaliser, et plus tard, sans doute, celles du district salin tout entier.

Pour donner une idée de l'importance des usines traitant la Carnallite de Stassfurt et d'Anhalt, nous donnons ici un petit tableau résumant les principaux renseignements que nous avons pu recueillir sur la consistance de trois d'entre elles.

	USINE ANGLAISE à Stassfurt. 1883.	USINE GRÜNEBERG. 1884.	USINE DOUGLAS. 1884.
Frais de premier établissement.	180.000 francs.	"	200.000 francs.
Carnallite traitée par jour. . . .	40 tonnes.	50 tonnes.	40 tonnes.
Nombre d'ouvriers.	25	41	40
Chaudières de dissolution. . . .	2 grandes.	13 petites.	2 grandes et 1 petite.
Cristallisoirs.	36	70	De 60 à 70.
Combustible brûlé : Lignite. . .	12 tonnes.	40 tonnes.	"
Houille. . .	1 tonne.	—	"
Chaudières de concentration. . .	2 grandes.	3 petites et 1 citerne.	2 grandes à feu nu, 1 à vapeur et 1 citerne.
Séchoirs.	"	1 four à réverbère.	Une chambre.
Pertes.	Près de 40 p. 100.	33-35 p. 100.	33-34 p. 100.

En outre, toutes ces usines renferment des chaudières à vapeur pour la dissolution, des pompes, des caisses à laver le sel et une ou plusieurs petites machines à vapeur. Il faut remarquer aussi que l'utilisation directe des dépôts de la concentration réduit de près de 4 p. 100 les pertes de l'usine Grüneberg, et les ramène ainsi à être peu différentes de celles de l'usine Douglas.

Comme disposition générale, l'usine anglaise forme un quarré de 40 mètres environ de côté, et subdivisé en quatre ateliers juxtaposés et correspondant : le premier à la dissolution, le deuxième à la cristallisation, le troisième à la concentration, et le quatrième à la production de la vapeur. L'installation de l'usine Grüneberg nous est inconnue, et

celle de l'usine Douglas est indiquée par le petit croquis représenté par la figure 11 (*).

Ajoutons enfin que la production totale des usines de Stassfurt et d'Anhalt s'est élevée, en 1864, à 16,500 tonnes de chlorure de potassium à 80 p. 100.

Prix de revient. — Nous ne possédons point de données suffisantes pour établir, d'une manière générale, le prix de revient du sel fabriqué. Les renseignements que nous avons entre les mains, soit sur l'usine Douglas, soit sur celle de la compagnie anglaise, font arriver à un chiffre supérieur au cours de ce produit pendant l'année 1864.

Dans l'usine de M. Grüneberg les frais se répartissaient de la manière suivante en avril 1865 :

Carnallite à 17,5 p. 100, 700 kil. à 16 ^{fr} ,25 la tonne.	Fr. 11,55 (porte 33 p. 100).
Main-d'œuvre, 11,5.	4,125
Combustible, 0 ^{fr} ,46 de lignite, à 5 ^{fr} ,70 la tonne (**).	2,625
Réparations.	0,500
Transports intérieurs et emballage.	0,625
Frais généraux, surveillance.	0,625
Intérêt du capital engagé, compté à 10 p. 100 pour l'immeuble et à 15 p. 100 pour l'outillage.	1,50
Prix de revient actuel des 100 kil. de chlorure de potassium à 80 p. 100.	21,00

Le prix de revient actuel des 100 kilog. de chlorure de potassium à 80 p. 100 dans une usine placée à peu près dans les conditions de celle de MM. Vorster et Grüneberg, c'est-à-dire traitant 40 à 50 tonnes de Carnallite par jour, et ayant coûté 200.000 francs de premier établissement, est

(*) Légende de la fig. 11 :

A, atelier de dissolution. — B, bureau. — C, citernes des eaux à évaporer. — D, laboratoire. — E, concassage et embarillage. — F, écurie. — G, générateur. — H, chaudière à vapeur. — L, atelier de cristallisation et de lavage. — K, chaudière à feu nu. — S, séchage.

(**) L'emploi exclusif du lignite à l'usine de Grüneberg entraîne une économie de 0^{fr},20 à 0^{fr},25 par 100 kilog. de chlorure de potassium.

donc de 21^f,60; mais ce prix s'abaisse à 18^f,80 en donnant à la tonne de Carnallite la valeur de 12^f,50 seulement que font entrevoir les dernières nouvelles de Stassfurt, et qui sert déjà de base aux spéculations commerciales.

Prix de vente. — En regard de ces chiffres, mettons les prix de vente. Au commencement de 1863, les 100 kilog. de chlorure de potassium à 80 p. 100 valaient encore, à Stassfurt même, près de 40 francs; mais ce prix, qui, malgré son élévation, suffisait déjà pour repousser l'importation étrangère, ne put tenir devant la concurrence, et dans le premier mois de l'année courante (1865) il s'était abaissé à Hambourg, qui est l'entrepôt de l'exportation, à 33 francs déjà, ce qui le mettait à 29 francs à peu près à Stassfurt, et à Paris à 35^f,30, le transport entre ces deux localités étant de 6^f,30, décomposables comme il suit : Stassfurt-Hambourg, 3^f,80; Hambourg-Dunkerque, 2^f,50; Dunkerque-Paris, 0^f,50.

Au commencement de mars, une nouvelle baisse s'est fait sentir, et deux offres furent faites simultanément à la direction des poudres et salpêtres, à Paris, l'une à raison de 33^f,90, l'autre de 31 francs seulement les 100 kilog., à 80 p. 100, livrés à Paris. Elles correspondaient à la première diminution accordée par le gouvernement prussien.

Enfin, au moment où nous écrivons ces lignes, la réduction définitive annoncée par le gouvernement prussien dans le prix de vente de la Carnallite vient de provoquer une offre de livraison à Paris, à raison de 25 francs, soit de 18^f,70 à Stassfurt.

Ce chiffre, qui est inférieur à celui que nous avons établi directement, ne s'explique que par l'abandon de l'amortissement, ou par l'existence de bénéfices résultant des produits accessoires; il ne peut, par suite, être majoré par les usines où l'utilisation des dernières a pris développement.

Dans ces conditions, le chlorure de potassium :

nous paraît destiné à rendre, dans un bref délai, toute concurrence difficile, et à servir d'aliment principal, sinon exclusif, aux principaux marchés de l'Europe.

CHAPITRE VII.

APPLICATION INDUSTRIELLE ET AGRONOMIQUE DU CHLORURE DE POTASSIUM ET DES PRODUITS ACCESSOIRES DE SA FABRICATION.

I. — Sources et emplois industriels des sels de potasse.

Si la présence du sel gemme à Stassfurt a exercé une grande influence sur le mouvement commercial du chlorure de sodium en Prusse, la découverte des chlorures déliquescents, à la partie supérieure du gisement, a produit une véritable révolution dans l'industrie des sels de potasse de l'Europe entière.

Jusqu'à cette découverte, en effet, les sources de production de la potasse étaient extrêmement restreintes, et se réduisaient à peu près aux trois suivantes :

1° *L'azotate de potasse*, provenant du lavage des terres chargées simultanément de matières azotées et de carbonates alcalins (grottes de Ceylan et de Hongrie; — terre végétale du Bengale).

2° *Le carbonate de potasse*, extrait par lessivage des cendres de bois et autres matières végétales (Russie, — Hongrie, — Amérique) et du résidu de la fabrication de l'alcool à l'aide des mélasses de betteraves (Schlempekohle).

3° *Le sulfate de potasse et le chlorure de potassium*, retirés des eaux mères des salines ou des marais salants, et des cendres des plantes marines, parmi lesquelles il faut citer en première ligne les varechs.

La première de ces trois sources fait dépendre l'industrie de la potasse en Europe, de l'importation étrangère, et ne fournit qu'un nombre fort limité de produits toujours chers, et impropres par cela même à être consommés régulièrement par l'industrie, et surtout par l'agriculture.

La seconde, autrefois très-puissante, a perdu peu à peu son ancienne importance, et ne joue plus aujourd'hui qu'un rôle accessoire qui ira en diminuant encore à l'avenir.

Il est vrai que, dans ces derniers temps, on a préconisé, comme nouvelle et importante source de carbonate de potasse, le désuintage des laines de brebis; il existe, en effet, à Reims, une industrie fondée sur cette opération, et livrant au commerce du carbonate de potasse fort estimé à cause de sa pureté; mais, outre que ce produit est d'un prix élevé (80 francs les 100 kilogrammes en 1864), les limites extrêmement restreintes de sa fabrication ne permettent de lui donner qu'un très-petit nombre d'applications.

Une toison fournit, en effet, 300 grammes à peu près de suint desséché, composé en moyenne de :

	Gr		
Sulfate de potasse.	7,5	soit pour 100	2,5
Carbonate de potasse (*). . . .	133,5	—	44,5
Chlorure de potassium.	9,0	—	3,0
Matières organiques.	150,0	—	50,0
	<u>300,0</u>	—	<u>100,00</u>

Elle donne donc, en moyenne, 150 grammes de sels de potasse, et comme le nombre des brebis, dont on pourrait soumettre la laine au dessuintage, s'élève annuellement, en France, à 6 millions au plus, la quantité maximum des sels de potasse, que l'on pourrait retirer de cette opération, atteindrait à peine, par an, 900 tonnes, soit le vingtième seulement de la production actuelle des usines de Stassfurt. Mais l'importance de cette fabrication est encore réduite par l'usage, de plus en plus répandu en France, de parquer les brebis, car cette coutume appauvrit les laines en suint, et restitue au sol, par contact, une partie des sels de potasse qui lui avaient été primitivement enlevés.

La troisième source seule a une importance réelle, et constitue la base d'une industrie puissante développée prin-

(*) Les analyses de M. Jacquelain ont montré que ce carbonate n'était jamais entièrement pur, et qu'il renfermait toujours quelques centièmes de carbonate de soude.

ciatement sur le littoral de la Méditerranée. L'eau de mer contient en effet, en moyenne, 0,07 p. 100 de chlorure de potassium, soit la 30^e partie du chlorure de sodium qu'elle renferme, et ce potassium se retrouve tout entier, comme nous l'avons indiqué plus haut (chap. III), dans les eaux mères qui ont déposé la presque totalité de leur sel gemme.

Dans l'origine, ces eaux mères étaient simplement évaporées, et l'on utilisait à l'état d'alun la plus grande partie de la potasse qu'elles renfermaient. Plus tard, les besoins de la consommation ayant provoqué une hausse rapide dans le prix du chlorure de potassium, et ayant rendu possible la vente du sulfate de magnésie, jusque-là sans valeur, elles furent exploitées en vue de la production de ces deux dernières substances. Cette fabrication, installée dans presque toutes les salines de l'Hérault, et perfectionnée par l'introduction des appareils réfrigérants de M. Carré, donna longtemps d'excellents résultats, mais elle était loin de pouvoir répondre aux exigences croissantes de la consommation. Aussi, pour maintenir l'équilibre entre la demande et la production, était-on obligé d'enlever chaque année à l'agriculture une fraction croissante des matières premières qui lui étaient autrefois destinées, pour les faire servir à la fabrication des nombreux sels de potasse qu'exigent, dans une mesure sans cesse grandissante, les verreries, la photographie, les fabriques de produits chimiques, la pharmacie, et par-dessus tout la fabrication de la poudre.

Un pareil état devait amener tôt ou tard une crise agromique, dont, comme nous le verrons dans un instant, les premiers symptômes se faisaient déjà sentir en plusieurs points de l'Europe.

La découverte d'un gisement de sels de potasse, présentant des dimensions qui sont de nature à calmer les prévisions des esprits les plus alarmistes, est venue donner une nouvelle face à la question et transformer le problème de la recherche des matières premières, en celui de l'utilisation industrielle des substances que le gisement est en état de

l'extraire en si grande abondance, pendant une période que les caux ne peuvent atteindre.

Or, comme nous l'avons vu, la potasse se trouve dans le gisement à l'état de chlorure de potassium et de magnésium, lui-même mélangé, par l'explication, au chlorure de sodium et au sulfate de magnésie voisins: et, d'autre part, le traitement industriel que suit la Carnalline ne fait qu'isoler le chlorure de potassium, et le séparant des substances avec lesquelles il était combiné ou mélangé.

Il reste donc à extraire du chlorure les sels qui ont une application commerciale, et principalement l'azotate, le sulfate et le carbonate de potasse.

La première de ces trois transformations est depuis longtemps usitée dans les fabriques de salpêtre: elle s'effectue par la double décomposition de l'azotate de soude et du chlorure de potassium qui, mis en présence dans une li-queur chaude et concentrée, donnent du chlorure de sodium moins soluble, qui se précipite, et une eau mère chargée d'azotate de potasse que l'on fait cristalliser.

Aussi est-ce à la production du salpêtre, lui-même destiné à la fabrication de la poudre à tirer, qu'a été employée d'abord la plus grande partie du sel obtenu à Stassfurt; mais ce débouché est devenu promptement insuffisant pour consommer la production toujours croissante des usines, car ces dernières eussent pu fournir, en 1864, la quantité de salpêtre nécessaire à la fabrication de 25.000 tonnes de poudre (*).

(*) On avait exprimé pendant quelque temps la crainte que les salpêtres fabriqués avec les produits de Stassfurt, renfermeraient toujours de la magnésie en quantité suffisante pour en altérer un peu la qualité. Une analyse faite, sur notre demande, par les soins du bureau d'essais de l'École des mines, a montré que cette crainte était sans fondement, et que dans 50 grammes de salpêtre provenant de la raffinerie impériale de Paris, on ne pouvait constater que des traces tout à fait indosables de magnésie, sans influence aucune sur la qualité de la poudre à la fabrication de laquelle ce salpêtre était employé.

Le second de ces problèmes n'est résolu que depuis très-peu de temps, par le procédé mentionné plus haut, à l'aide duquel MM. Vorster et Grüneberg transforment, par double décomposition, le kieserite et le chlorure de potassium en chlorure de magnésium et sulfate de potasse.

Quant à la transformation directe du chlorure en carbonate, malgré les primes offertes par le gouvernement prussien, elle n'a pas encore reçu jusqu'à ce jour de solution industrielle; elle a d'ailleurs une importance moindre que les problèmes précédents, une des trois grandes sources de potasse, mentionnées plus haut, ayant le carbonate pour produit direct, et ce dernier s'extrayant, en outre, facilement du sulfate, par le procédé de M. Leblanc. Les deux transformations actuellement connues suffisent donc pour donner un développement rapide à l'exploitation et à la fabrication du sel à Stassfurt; aussi, tandis qu'en 1863 encore le Zollverein était obligé de demander à l'importation étrangère 8.200 tonnes de potasse, qu'il n'obtenait qu'à des conditions fort onéreuses, le mouvement inverse se produit aujourd'hui, et nous avons vu, au commencement de cette année, le chlorure de potassium prussien apparaître sur le marché de Paris, et y faire une concurrence énergique aux produits indigènes.

Nous devons, pour être justes, mentionner en terminant les efforts faits par l'industrie française et spécialement par les salines de la Camargue, pour soutenir, sinon repousser, cette redoutable concurrence (*).

Le chlorure de potassium ayant été réduit, en moins de 18 mois, presque à la moitié de sa valeur, on ne pouvait plus, dans le traitement des eaux mères des marais salants, faire

(*) Quant à l'industrie de la soude-varech, également atteinte par la concurrence prussienne, elle a continué à se développer à cause de la production de l'iode, dont elle possède jusqu'ici le privilège, et dont elle a pu, grâce à une consommation toujours croissante, élever le prix à mesure que celui de la potasse allait en s'avilissant.

de ce corps l'objet principal de la fabrication, et cette dernière, complètement modifiée, s'effectue aujourd'hui de la manière suivante dans les salines de la Camargue (*).

On recueille séparément les trois séries de dépôts qui se forment, par évaporation spontanée de l'eau de mer, à 30, 35 et 55 degrés de l'aréomètre de Baumé, et qui renferment, ainsi que nous l'avons dit plus haut, le premier, la presque totalité du sel marin à un état de pureté à peu près parfaite; le second, le sel *mêlé* (**), composé par parties égales de chlorure de sodium et de sulfate de magnésie, et le troisième, le sel *d'été*, mélange complexe de chlorures et de sulfates alcalins, dans lequel toute la potasse primitivement contenue dans l'eau de mer, se trouve concentrée.

Ce sel, le seul dont nous ayons à nous occuper, est dissous dans une eau chargée de sulfate de magnésie provenant de l'opération même et portée préalablement à une température voisine de 100 degrés. La dissolution ainsi formée laisse déposer par refroidissement un peu plus de la moitié de la potasse qu'elle renferme (55 p. 100 à peu près) sous forme d'un sulfate double de potasse et de magnésie :



qui constitue, comme nous le verrons plus tard, un excellent engrais minéral.

Mais en attendant que ce sel soit consommé directement par l'agriculture, on en retire le sulfate simple de potasse par dissolutions et cristallisations successives.

Deux opérations (dont les eaux mères servent à la dissolution du sel d'été brut) suffisent pour l'amener à la teneur de 80 p. 100, qui paraît particulièrement favorable à la transformation en potasse brute, la petite fraction de

(*) Les renseignements sur les salines du Midi de la France sont dus à une obligeante communication de M. Balard.

(**) Ce sel, introduit dans les appareils réfrigérants, donne par double décomposition du chlorure de magnésium qui reste dessous, et du sulfate de soude qui se dépose et qui est livré au commerce.

magnésie restante communiquant à cette dernière une porosité qui rend sa lixiviation extrêmement facile.

Quant à la dissolution primitive, de laquelle le sel double s'est précipité, et qui renferme 45 p. 100 environ de la potasse totale, elle ne pouvait être utilisée économiquement avant l'emploi du froid artificiel; mais elle est recueillie aujourd'hui dans les machines réfrigérantes et soumise à une température de 17 degrés au-dessous de zéro, qui en précipite tout le sulfate de soude qu'elle est susceptible de donner.

Lorsque le dépôt est achevé, l'eau mère est d'abord dirigée dans les bassins d'évaporation, où elle se concentre et laisse déposer le reste du sel marin qu'elle renferme, puis mélangée avec une eau chargée de chlorure de magnésium, provenant de l'opération précédente, enfin soumise à une nouvelle évaporation qui provoque le dépôt complet de la potasse à l'état de Carnallite artificielle,



On extrait de cette dernière (par un procédé entièrement analogue à celui des usines de Stassfurt) le chlorure de potassium simple sous forme de petits cristaux aussi fins qu'on le désire, et parfaitement propres à la transformation en sulfate et en carbonate de potasse.

En résumé, l'obtention directe des 55 centièmes de la potasse sous forme de sulfate double plus ou moins enrichi; l'obtention des 45 autres centièmes sous forme de chlorure de potassium au moyen de machines réfrigérantes, la conversion de la plus grande partie de ces produits en carbonate de potasse pur; tels sont les éléments de l'industrie salinière pratiquée actuellement en Camargue; aussi, grâce aux efforts énergiques qui ont présidé à cette nouvelle organisation, aux moyens puissants qui ont été employés pour rendre la production normale et abondante (*).

(*) Parmi ces moyens, il faut citer en première ligne la construction de bassins d'évaporation bétonnés recouvrant une surface de 15 hectares et pouvant contenir 150.000 mètres cubes d'eau salée.

peut-on espérer que l'industrie de la potasse des mers actuelles continuera à prospérer et même à se développer à côté de l'exploitation des richesses salines que la nature a déposées dans le bassin de Magdebourg. Mais pour que la première puisse s'élever à la hauteur de la seconde et rivaliser d'importance avec elle, il serait nécessaire que tout le bassin de la Méditerranée, et en particulier l'Espagne et l'Italie, entrassent dans la voie si courageusement ouverte par les salines de la Camargue; car il faudrait évaporer la quantité d'eau de mer correspondante au sel gemme nécessaire à la consommation de 80 millions d'habitants environ, pour produire la potasse fournie dès aujourd'hui par les usines d'Anhalt et Stassfurt.

II. — *Utilisation des produits de Stassfurt pour l'agriculture (*)*.

A. Substances minérales enlevées par la culture. — Épuisement du sol.

Quelque grands que soient les avantages que l'industrie a recueillis de la découverte du gisement de Stassfurt, leur importance s'efface devant ceux qui en résultent, et surtout qui en résulteront pour l'agriculture. Nous avons vu, en effet, que c'était à la condition d'enlever à cette dernière, impuissante à soutenir la concurrence, les sels de potasse dont elle avait de plus en plus besoin, que l'industrie était parvenue à satisfaire jusqu'à ce jour aux exigences croissantes de la consommation. C'est donc à l'agriculture surtout que revient le bénéfice de la découverte de cette nouvelle et puissante source de sels de potasse; réciproquement, c'est elle qui fournit aux produits des usines de Stassfurt un placement à peu près illimité, et qui assure ainsi un avenir, dont les prévisions industrielles ne peuvent prévoir la fin, et dans une mesure sans cesse croissante la prospérité des exploitations salines.

(*) Une grande partie des renseignements contenus dans ce paragraphe est empruntée à une communication faite récemment par M. Grüneberg à la Société agronomique de Cologne.

Les végétaux, en effet, exigent pour leur développement, outre les matières azotées, un certain nombre de substances minérales, en proportions variables d'une espèce à l'autre, mais constantes pour une espèce donnée, au point que chaque écart correspond à un état maladif de la plante sur laquelle on l'a observé.

Les récoltes enlèvent donc, chaque année, à la terre une quantité plus ou moins grande de matières minérales dont les principales sont : la potasse, l'acide phosphorique, la magnésie, la soude, la silice et l'acide sulfurique. L'analyse des cendres des végétaux produits permet d'estimer l'importance de la perte qui en résulte pour le sol, et voici quelques chiffres qui en montrent la valeur au point de vue des sels de potasse, les premiers qui aient attiré l'attention des chimistes et des agriculteurs.

M. le docteur Frühling a constaté, en 1863, qu'une récolte de betteraves enlevait, par arpent (*) de terre médiocre, 30,5 kilogrammes de potasse et 5 kilogrammes d'acide phosphorique, et MM. Pincus et Brettschneider ont trouvé que, dans les terres de bonne qualité, donnant une récolte abondante, la quantité de potasse soustraite s'élevait à 72 kilogrammes, dont 22 dans les parties vertes et 50 dans les racines.

M. Grüneberg vient de reprendre cette étude d'une manière plus complète, et de réunir, dans un tableau détaillé, les principaux renseignements fournis jusqu'à ce jour par l'analyse chimique, sur la quantité de substances salines de toute nature enlevées par une récolte moyenne dans un sol de bonne nature. Nous reproduisons ici une partie de ce tableau, en l'adaptant aux mesures métriques, et nous en donnons également une représentation graphique, qui permet d'embrasser d'un seul coup d'œil l'importance relative de l'épuisement produit par les principales cultures.

(*) Un arpent prussien (*morgen*) vaut 180 *quadrat-ruthen* ou 583 $\frac{1}{3}$ *quadrat-lachter*. — Un hectare vaut 5,916615 arpents prussiens.

Tableau des substances enlevées à 1 hectare de sol de bonne qualité
par une récolte moyenne.

PLANTES.		SELS RENFERMÉS DANS LES PLANTES.									
Désignation.	Poids d'une récolte en quintaux métriques.	Potasse.	Soude.	Acide phosphorique.	Chaux.	Magnésie.	Acide sulfurique.	Chlore.	Silice.	Alumine et oxyde de fer.	Total.
	Quintaux métriques.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.	kil.
Betteraves (1)...	380	280	44	50	37	23	12	20	50	8	445
Trèfle.	100	160	22	45	240	68	23	35	28	9	620
Pomme de terre.	208	147	12	36	49	16	14	18	8	7	307
Navette.	60	133	4	77	51	22	37	30	43	6	403
Prairies.	60	100	29	32	24	13	11	36	136	7	401
Tabac.	16	36	11	14	129	35	16	11	36	13	249
Houblon.	20	77	8	35	50	17	16	10	64	12	239
Froment.	60	40	9	34	16	10	10	5	163	3	280
Seigle.	58	44	10	39	24	11	8	4	146	5	279
Orge.	56	36	6	30	14	10	4	9	109	3	221
Avoine.	20	29	13	15	11	11	3	7	79	3	171
Sarrasin.	34	16	4	20	14	27	5	1	2	2	91
Lin.	54	66	5	10	24	10	16	6	113	0	260
Choux frisé. . . .	300	68	18	38	50	7	8	10	6	2	215
Légumineuses. .	50	51	14	30	47	13	5	4	6	4	174
Plants de vigne.	40	69	5	10	53	7	3	2	2	2	153
Vin et marc. . .	101	30	2	18	15	3	2	1	2	2	70

(1) On a supposé les parties vertes restituées au sol comme engrais. — Les rapports de la potasse et de la magnésie à l'acide phosphorique varient, le premier de 1,17 (blé) à 6,9 (lin), le second de 0,16 (choux) à 2,5 (tabac).

Ce tableau montre qu'un grand nombre de plantes, et particulièrement la betterave, le trèfle et la pomme de terre, absorbent des quantités considérables de potasse, de magnésie, de phosphore, de silice, etc.; il faudrait donc que le sol, auquel leur culture est confiée, renfermât toutes ces substances salines, et surtout la potasse, en proportions énormes, pour être capable de produire, d'une manière ininterrompue, des récoltes rémunératrices. Malheureuse

ment il n'en est pas ainsi, car la quantité de sels alcalins renfermés dans la terre, à un état où les plantes peuvent les absorber à leur profit, est toujours très-limitée, et ne représente qu'une petite fraction de celle que révèle l'analyse chimique, soit dans la terre végétale, soit dans le sous-sol.

Cette circonstance se présente surtout pour les terrains formés de roches feldspathiques ou de leurs débris, et provient de ce que les substances alcalines s'y trouvent engagées dans des combinaisons insolubles, dont les racines ne peuvent les extraire au profit des végétaux.

Les agents atmosphériques produisent, il est vrai, à la longue, la décomposition de ces roches, et en séparent des sels alcalins solubles, et par suite assimilables par les plantes; mais cette action est extrêmement lente, et si, dans les temps anciens, on pouvait l'utiliser, en laissant le sol en jachère une année sur deux, il ne peut plus en être ainsi de nos jours, où l'augmentation et la concentration croissantes de la population dans les centres industriels exigent impérieusement une culture ininterrompue. Il résulte donc de cette dernière un enlèvement incessant de matières salines assimilables, et par suite une diminution correspondante de la puissance productive du sol auquel elle est appliquée sans restitution.

Voici quelques observations qui donneront une idée de l'importance de cet épuisement pour le trèfle et la betterave, qui, avec le tabac, sont les végétaux dans la constitution desquels il entre le plus de sels alcalins.

En premier lieu, M. de Rimpan a constaté qu'un sol de bonne qualité, renfermant, sur 100.000 parties en poids, 13,4 de potasse et 8,5 de soude, ne contenait plus, au bout de quelques années de culture ininterrompue de trèfle, que 3 parties du premier et 5,5 du second de ces deux alcalis, et ne pouvait plus produire qu'une récolte médiocre d'un trèfle de qualité inférieure. D'autre part, les terres noires des steppes de la Russie, dont la fertilité en céréales a une

réputation européenne (*), et qui renferment, dans une épaisseur moyenne de 7 mètres, près de 1.000 fois la quantité de potasse nécessaire à une récolte de betteraves, sont tellement épuisées par trois années consécutives de cette culture, qu'elles deviennent impuissantes à fournir, au bout de ce temps, une moisson rémunératrice.

Mais ce n'est pas tout : non-seulement la quantité des produits diminue à mesure que l'épuisement du sol en matières minérales augmente, leur qualité elle-même subit une altération plus grande encore. Les travaux de M. Grouven ont, en effet, montré que, si la cendre d'un trèfle de bonne qualité renfermait 32,5 à 37,8 p. 100 de potasse, celle du trèfle malade, produit par un sol épuisé, n'en contenait que 3,32 p. 100, c'est-à-dire la dixième partie seulement.

Des observations analogues ont été faites sur les betteraves, et l'analyse de leurs cendres a donné les résultats suivants :

Proportion p. 100 de substances minérales renfermée dans les cendres de betteraves.

	De bonne qualité.	Un peu gâtées.	Malades et pourries.
Potasse	32,50 (**)	26,73	19,00
Soude.	2,23	0,72	0,42
Magnésie	1,70	0,73	0,43

D'autre part, M. Kuhlmann a constaté, qu'après une culture longtemps prolongée de la betterave dans l'arrondissement de Valenciennes, les alcalis retirés des résidus de la fabrication du sucre avaient perdu leur pureté initiale en potasse ; qu'une fraction notable de cette dernière était

(*) Une des causes de cette fertilité extraordinaire se trouve dans ce fait que, dans la culture du blé, la plus grande partie des substances minérales est absorbée par la paille et est, par suite, restituée au sol, soit directement par l'abandon de cette dernière après la moisson, soit indirectement par l'intermédiaire du fumier.

(**) Dans des sols naturellement ou artificiellement enrichis en potasse, cette teneur s'élève jusqu'à 40 p. 100.

remplacée par une proportion équivalente de soude, et que cette substitution coïncidait avec l'affaiblissement de la richesse en sucre des betteraves dont ces salins avaient été extraits.

De son côté, M. Liebig, par une série d'expériences du même genre, a été amené à conclure que les maladies de la vigne, de la pomme de terre et du mûrier, dont la dernière a eu les conséquences les plus funestes pour la culture des vers à soie dans la Lombardie et le midi de la France, doivent être attribuées au moins en partie à la même cause, à l'appauvrissement du sol en phosphore et surtout en alcalis.

Enfin cet épuisement paraît avoir également pour effet de ralentir la croissance des plantes qui ont besoin d'alcalis pour leur développement. Sur un sol, dans lequel la potasse abonde, les betteraves acquièrent plus rapidement la quantité maximum de matières sucrées dont elles sont susceptibles, quoique cette dernière soit beaucoup plus grande que dans un sol appauvri. La vigne aussi mûrit plus tôt dans les terrains riches en alcalis, et, sur deux sols identiques, ce seront les raisins dans la composition desquels il entre le moins de potasse, qui arriveront les derniers à la maturité, tout en renfermant une proportion plus faible de matière sucrée.

On voit donc qu'il existe toute une série de végétaux dont le développement exige, outre les matières azotées et le phosphore, des alcalis et particulièrement de la potasse, à l'état soluble, dans le sol qui doit les produire, et dont la culture devient, par suite, promptement impossible, si l'on ne restitue régulièrement à la terre les sels enlevés par les récoltes précédentes.

B. — Engrais minéraux. — Guano. — Sels de potasse.

La nécessité de restituer au sol les substances absorbées par la culture est naturellement d'autant plus impérieuse, que cette dernière a été pratiquée plus longtemps et a pu

produire un épuisement plus considérable ; aussi la question des engrais, qui, dans les temps anciens, ou sur des sols encore vierges, n'avait qu'une importance secondaire, est-elle devenue, aujourd'hui, le problème fondamental de l'agronomie moderne, et l'un des éléments les plus importants de sa prospérité future.

La solution la plus ancienne, la plus répandue et la plus rapprochée de celle qui satisferait pleinement au problème est l'engrais au fumier de ferme. — Combiné avec un labourage tantôt profond, tantôt superficiel, et avec la culture de plantes à longues racines, telles que la luzerne, qui ramènent à la surface les substances minérales assimilables renfermées dans les couches profondes, il donne, surtout pour les céréales, d'excellents résultats : il fournit, en effet, au sol, outre les matières azotées, une quantité notable de sels alcalins, renfermés simultanément dans l'engrais et dans la paille, et dont les derniers représentent, à eux seuls, en forte proportion des substances salines enlevées par la récolte précédente.

C'est ce que montrent les analyses suivantes, représentées graphiquement par la fig. 13.

SUBSTANCES SALINES. . . .	CONTENUE	
	dans 1000 kilogr. de fumier	dans 10 muids (1 ^m ³ ,367)
	kilogr.	kilogr.
Potasse.	4,5	11,5
Soude.	1,0	3,5
Acide phosphorique. . . .	2,0	1,0
Chaux.	0,0	0,6
Magnésie.	2,5	1,8
Acide sulfurique.	0,5	1,7
Chlore.	1,5	5,0
Silice.	"	0,4
Fer et alumine.	"	1,0
Arzén.	5,5	11,5

Malheureusement la production de ces engrais n'est pas toujours suffisante, et il existe bien des pays en Europe, où l'ancien précepte agronomique, que *chaque ferme doit produire le fumier dont elle a besoin*, est complètement en défaut aujourd'hui. De plus, pour les cultures très-épuisantes en matières salines, telles que la pomme de terre, le trèfle et surtout les betteraves, ce fumier ne fournit pas une restitution suffisante, et exige l'emploi simultané d'engrais minéraux, dont les plus simples sont les résidus mêmes de la récolte précédente, ou les détritux de la fabrication ultérieure des produits auxquels elle donne naissance.

C'est ainsi que, dans la plus grande partie du nord de la France, par exemple, on utilise avantageusement comme engrais, pour la culture des betteraves, conjointement avec le fumier de ferme, tantôt les pulpes elles-mêmes, après l'extraction du jus pour la fabrication du sucre, tantôt et plus souvent, les résidus calcinés de la distillation pour alcool des mélasses provenant de l'opération précédente (*).

Mais cet usage n'est pas général, et dans bien des contrées du nord de l'Allemagne et de l'Angleterre il tend à diminuer encore. Les demandes croissantes des sels de potasse ont, en effet, provoqué, dans ces derniers temps, une hausse sensible dans le prix de ces résidus, et l'agriculteur trouve, par suite, souvent un bénéfice immédiat plus considérable à s'en défaire au profit de l'industrie, qui les transforme en sulfate et carbonate de potasse.

L'emploi du marc de raisin, comme engrais pour la vigne, n'est pas d'un usage plus répandu, et possède d'ailleurs une efficacité moindre; la plus grande partie de la potasse enlevée par la récolte se retrouve, en effet, dans le tartre brut, qui se dépose pendant la fermentation, et qui

(*) Pour donner une idée de l'importance que peut atteindre la production de ces derniers, nous rappellerons que, pour les seuls environs de Magdebourg, elle s'élève annuellement à plus de 4.500 tonnes.

sert à la production industrielle de tous les composés de l'acide tartrique.

On a donc été amené depuis longtemps à chercher d'autres engrais minéraux; parmi les matières employées jusqu'ici il faut citer, en première ligne, les substances phosphatées minérales et animales, telles que l'apatite de Kragerø (Norwège), les nodules de phosphate de chaux fossile des terrains secondaires et particulièrement de la craie inférieure (*), les cendres d'os et surtout les guanos.

Toutes ces substances sont, en effet, des stimulants énergiques, et commencent par donner d'excellents résultats, quoiqu'elles ne restituent directement au sol qu'une faible partie des substances minérales nécessaires au développement des plantes, et que les éléments qui les composent s'y trouvent avec des proportions entièrement différentes de celles qu'elles affectent dans les végétaux.

Il faut remarquer en outre que dans la plupart des substances, le phosphore se trouve à l'état de phosphate de chaux tribasique, insoluble, et par suite difficilement assimilable par la culture. Le *guano du Pérou* (îles de Chincha) fait exception sous ce rapport, et renferme, outre le phosphate insoluble, de l'acide phosphorique uni à des bases alcalines; il contient en outre, et c'est là un des éléments principaux de sa valeur industrielle, des urates, oxalates,

(*) En certains points de la ceinture crétacée du bassin de Paris, les nodules phosphatés prennent un tel développement dans les argiles du grès vert inférieur et du Gault, que ces dernières fournissent d'excellents amendements pour les terrains calcaires ou sablonneux.

En Russie, ces nodules forment en plusieurs points et notamment aux environs de Koursk des lits continus, présentant une grande résistance pour servir de pierres de construction; circonstance, jointe à l'absence complète de roches dures dans les terrains voisins, leur a fait donner le nom de *Samaro* (naturelle), par opposition à la brique, élément habituel des constructions du centre de la Russie.

nitrate et sulfate de potasse, de chaux et d'ammoniaque, c'est-à-dire de l'azote à un état très-favorable à l'assimilation végétale. Le *guano de l'île Baker* ne renferme ces dernières substances qu'en très-faibles proportions, et le *guano de l'île Jervis* est principalement un mélange de gypse et de phosphate de chaux bibasique. Aussi a-t-on essayé, pour obtenir des engrais plus azotés et surtout plus assimilables, de traiter le guano des îles Baker, tantôt par un mélange de sulfate d'ammoniaque et d'acide sulfurique, tantôt par ce dernier seulement, de manière à lui enlever la moitié de la chaux unie à l'acide phosphorique. On obtient ainsi les substances connues sous le nom de *Phospho-Guano* (P. Lawson) et de *Supersphosphate* (Grüneberg), qui sont livrés à l'agriculture à peu près aux mêmes prix que les guanos bruts qui servent à leur fabrication. Le tableau suivant (dont les principaux éléments sont reproduits dans la fig. 15) montre combien les rapports de la potasse et de la magnésie dans ces différents engrais sont inférieurs à ceux qui sont réalisés par l'assimilation végétale.

Substances minérales renfermées dans 100 parties de divers engrais phosphatés.

NOMS DES ENGRAIS.	Potasse.	Acide phosphorique.	Chaux.	Magnésie.	Acide sulfurique.	Calcaire.	Silice et quartz (mélangés).	Oxyde de fer et alumine.	Arène.	Carbonate de chaux mélangé.	Rapport de la potasse à l'acide phosphorique.	Rapport de la magnésie à l'acide phosphorique.	Prix des 100 kilos.	OBSERVATIONS.
Guano des Iles Chincha.	2,36	0,25	15,74	13,83	1,41	0,31	1,47	1,14	13,14	0	0,169	0	fr. 52,50 (a)	(1) Le lessivage en acide phosphorique a éliminé quelques-uns jusqu'à 2 et 3 p. 100.
Guano du Pérou.	2,00	1,50	13,50	10,60	0,75	1,10	0,50	1,0	14,06	0	0,148	0,178	(a)	(1) D'autres analyses ont donné pour la couche supérieure 14,8, 15, 17,5 et 20 d'acide phosphori- que.
Guano de l'île Baker.	0,17	0,58	46,27	43,38	0,04	0,13	0	0	0,91	0	0,024	0,017	38,00 (e)	(a) Livrés à Paris, à Cologne le prix est 57,00.
Guano de l'île Jervis.	0,45	0,23	17,60	34,84	37,02	0,20	0,61	0	0,58	0	0,011	0,008	4 40 (b)	(b) A Paris, même Th. Lachembie.
Nodules phosphatés de la craie } n° 1. de Valenciennes (1). } n° 2.	0	0	21,30	22,54	0	traces	3,80	0,3	0	50,52	0	0	4 40 (c)	(c) Dans les ports de la Gironde.
Samarode (2) de Koursk (couche sup.).	0,80	0	21,20	22,80	0,67	0	40,80	0	3,94	7,04	0,038	0	4 40 (d)	(d) A Cologne.
Samarode de Koursk (couche inf.).	0,04	0,01	18,00	19,40	0	0	35,6	0,5	0,30	5,10	0,008	0,003	37,80 (e)	(e) A Paris.
Os broyés (Knochenmehl).	0,80	0,60	23,00	30,00	0,30	0	2,00	0	3,00	0	0,082	0,042		
Hyperphosphate (Grünberg).	0,80	0	26,20	29,80	34,00	0	0	0	0	4,00	0,031	0	37,80 (f)	(f) A Paris.

La discordance est grande, comme on le voit, entre les substances enlevées par les récoltes et celles apportées par les engrais phosphatés, et si malgré cela ces dernières produisent d'abord de belles récoltes, et semblent résoudre le problème de la culture intensive, c'est que non-seulement ils apportent aux végétaux leurs propres éléments, mais ils agissent encore énergiquement sur le sol et y transforment en matières assimilables les substances salines nécessaires au développement de la plante. Comme dans le commencement surtout cette action est très-énergique, et que le sol semble donner, et donne en effet, plus qu'il ne reçoit, les engrais phosphatés, et particulièrement le guano, ont acquis une réputation plus qu'européenne, et constituent, presque à la surface du monde entier, un des éléments principaux de l'agronomie moderne.

Malheureusement leur emploi exclusif ne permet pas à l'état de choses prospère, auquel ils ont donné naissance, de se maintenir longtemps, et il arrive bientôt un moment où le sol, ayant fourni tout ce qu'il renfermait de substances susceptibles de former, avec leurs éléments, des sels assimilables par les végétaux, devient, même avec de nouvelles et fortes additions de ces engrais, incapable de se prêter à la culture intensive. Aussi a-t-on fait, en Saxe, en Bohême, dans le duché de Bade et dans certaines parties de l'Angleterre, la triste expérience, que des terres qui, pendant une série d'années, avaient donné, grâce au guano, d'abondantes moissons de betteraves, perdaient presque subitement cette fertilité artificielle, pour ne plus fournir que des récoltes maigres de betteraves peu sucrées.

Les engrais phosphatés sont donc incapables de communiquer, par eux-mêmes, au sol une fertilité puissante et continue, et pour prévenir l'épuisement rapide que leur usage entraîne, il faut leur ajouter les autres sels nécessaires à la plante, et particulièrement la potasse, la soude et la magnésie.

Jusqu'à ces derniers temps, les alcalis, dont le prix était assez bas pour pouvoir être acquis par l'agriculture, étaient peu nombreux, et se réduisaient aux cendres de bois (spécialement employées en Belgique), aux déchets de la fabrication de la potasse, et à quelques produits d'un emploi plus circonscrit encore (*). Il y avait donc là une lacune grave, que les exigences croissantes de l'industrie augmentaient chaque jour, et dont une nouvelle et puissante source de potasse pouvait seule arrêter les funestes conséquences.

Les sels déliquescents de la formation de Stassfurt-Anhalt sont venus répondre à ce besoin, dans une mesure qu'il eût été difficile d'espérer avant leur découverte, et l'agriculture s'empara, avec une avidité qu'explique l'importance qu'ils avaient pour elle, des produits fournis par l'exploitation du gisement salin.

On essaya d'abord d'utiliser directement la Carnallite elle-même; mais, comme on pouvait s'y attendre, la présence du chlorure de magnésium rendit son emploi plutôt nuisible que bienfaisant, et l'expérience d'une seule année suffit pour y faire complètement renoncer.

Il fallut donc avoir recours aux produits des usines, au chlorure et, mieux encore, au sulfate de potasse. Mais, malgré la baisse de prix provoquée par le développement

(*) Aux environs d'Aix-la-Chapelle, par exemple, l'emploi des résidus du balayage de la ville, conjointement avec l'engrais de ferme, a permis d'utiliser, pour la culture de la pomme de terre, des terrains sableux, presque dépourvus de terre végétale et à sous-sol argileux; à l'aide d'une fumure énergique, on est arrivé à obtenir régulièrement de belles récoltes, et, grâce aux matières salines apportées par les balayures, les pommes de terre produites n'ont, jusqu'à présent, jamais été atteintes de maladie.

Nous devons citer aussi le système, susceptible d'une vaste généralisation, auquel, depuis Léonard de Vinci, les plaines lombardes doivent leur puissante fécondité: l'irrigation du sol au moyen d'eaux qui se sont chargées de potasse par leur passage sur des roches feldspathiques et des terrains provenant de la décomposition de ces dernières.

de leur fabrication, ces sels sont encore trop chers pour que l'agriculture puisse les disputer à l'industrie. De plus, leur grande pureté, loin de compenser l'élévation de leur prix, est, au contraire, plutôt préjudiciable à leur emploi agronomique; car, ainsi que nous l'avons vu, l'agriculture exige des engrais complexes, renfermant simultanément le chlore, la silice, l'acide sulfurique, la potasse, la soude et la magnésie.

Or ces conditions sont réalisées, dans une mesure plus ou moins parfaite, par plusieurs des substances que nous avons vues se produire par le traitement des eaux mères, soit des salines prussiennes, soit des marais salants de la Camargue. Nous citerons en première ligne comme étant jusqu'à présent les plus économiques, deux des produits secondaires de la fabrication du chlorure de potassium et du sulfate de potasse dans les usines de Stassfurt, et en particulier dans celle de MM. Vorster et Grüneberg.

Le premier, qui entre dans le commerce sous le nom de *sel de potasse* ou de *sulfate brut de potasse* (*Kalisalz oder rohes Schwefelsaures Kali*), provient du dépôt qui se forme pendant la concentration des eaux mères, et qui renferme, comme nous l'avons vu plus haut, du chlorure de sodium et des sulfates de potasse et de magnésie; comme, d'autre part, MM. Vorster et Grüneberg fabriquent également du sulfate de potasse pur, dont la préparation donne lieu à une série de produits intermédiaires, il leur est possible de réaliser très-économiquement un sel présentant la composition suivante :

Sulfate de potasse.	20
Sulfate de magnésie.	15
Chlorure de sodium.	55
Eau.	10
	<hr/>
	100

A cet état, ce produit renferme autant de potasse que les cendres de sapin, et deux fois autant que celles du bois de

hêtre, et de plus une quantité de magnésie trois à quatre fois plus forte que celle de la moyenne des cendres de bois. En revanche, il diffère aussi de ces dernières, par sa teneur élevée en chlorure de sodium, qui est loin de contribuer aussi énergiquement que les autres éléments de l'engrais au développement de la vie végétale; néanmoins cette substance ne paraît pas exercer d'influence nuisible sur les plantes exigeant des engrais minéraux, car à Stassfurt, par exemple, où le sol en est tellement imprégné qu'il se recouvre souvent d'efflorescences salines, la teneur en sucre des betteraves ne le cède en rien à celle des autres districts de l'Allemagne du Nord.

Cette indifférence tient à ce que la plus grande partie du chlorure de sodium est sans action chimique sur le sol, reste dans le sillon à l'état de simple mélange avec la terre végétale, dont elle augmente la porosité, et est complètement enlevée par les eaux pluviales. Quant à la faible fraction qui est absorbée, elle exerce une influence salutaire à cause de la propriété qu'elle possède de dissoudre, et par suite de rendre assimilables par les végétaux 1,5 p. 100 de phosphate calcaire et 6,2 p. 100 de phosphate ammoniacomagnésien.

La présence du magnésium dans l'engrais de MM. Vorster et Grüneberg n'est pas indifférente non plus. Ce corps, en effet, entre dans la constitution de la plupart des végétaux, et paraît se concentrer surtout dans leurs graines; dans les céréales, par exemple, sa proportion y atteint le tiers, et dans le tabac presque la moitié de celle de la potasse. Il présente, en outre, chaque fois que l'on mélange le fumier de ferme, en tas, avec l'engrais minéral complexe, alcalin et phosphaté, l'avantage de fixer les combinaisons ammoniacales du premier, sous forme de sel double, non volatil, soluble dans les liqueurs neutres ou chargées d'acide carbonique. A cet état, leur volatilisation est empêchée; elles sont conservées sans perte pour la culture, et sont livrées à cette der-

nière à un état où elles sont complètement et facilement assimilables par les végétaux.

On voit donc que le *sel de potasse* réunit la plupart des conditions que doit remplir un engrais minéral; on a constaté expérimentalement que, pour en obtenir le maximum d'effet utile, il fallait le mélanger, suivant les cultures, avec $1/2$ à $1/10$ de son poids de guano ou de cendres d'os, le livrer au sol, de préférence en automne, dans la proportion de 800 à 1.000 kilogrammes au plus par hectare, et faire précéder son emploi d'un labourage profond. L'énergie avec laquelle le sol absorbe le sel de potasse est, en effet, telle, que, sans cette dernière précaution, celui-ci serait arrêté et fixé par les couches superficielles et ne pourrait que très-lentement parvenir jusqu'à la profondeur des racines.

Employé dans les conditions favorables, que nous venons d'indiquer, cet engrais fournit d'excellents résultats, surtout pour la culture d'automne, et c'est lui qui a reçu, jusqu'à ce jour, les applications les plus nombreuses et les mieux étudiées.

Sa production est extrêmement abondante, car les dépôts de la concentration, qui servent à le fabriquer, égalent en quantité le chlorure de potassium qui est l'objet final du traitement. L'usine de MM. Vorster et Grüneberg seule en fournit 2.000 tonnes environ par an, et en livre la tonne aux prix suivants : à Stassfurt, 37^f,50; à Cologne (en gare), 65 francs; à Hambourg (à bord), 57^f,50.

La deuxième substance servant d'engrais minéral se retire d'un produit accessoire de la fabrication du sulfate de potasse au moyen de la Kieserite; elle présente sur la précédente l'avantage de ne pas renfermer, comme elle, un grand excès de chlorure de sodium, mais elle contient, en revanche, une forte proportion de sulfate de chaux et de matières inertes.

Son mode de préparation nous est inconnu; sa composition moyenne peut être fixée comme il suit :

Sulfate de potasse..	24
Chlorure de sodium.	15
Sulfate de magnésie.	15
Gypse.	21
Argile, oxyde de fer, silice.	25

Ce sel est livré au commerce, à l'état broyé, sous le nom d'*engrais de potasse* (Kali-Dünger) aux conditions suivantes : à Stassfurt, 42^f,60 par tonne ; à Hambourg (à bord), 62^f,50 ; à Cologne (en gare), 70 francs.

Les circonstances dans lesquelles son emploi donne les meilleurs résultats sont à peu près les mêmes que celles que nous venons d'indiquer ; seulement, à cause de sa faible teneur en sel gemme, d'où résulte une action plus rapide et plus énergique, on peut porter, suivant la culture, de 1.000 à 1.500 kilogrammes la quantité de cet engrais enfouie dans un hectare, et en même temps le réserver pour la culture printanière.

A ces deux engrais, il faut ajouter :

1° Le *sulfate de potasse* à 80 p. 100, fabriqué à Stassfurt et dans presque toutes les salines qui traitent leurs eaux mères ;

2° Le *sulfate double de potasse et de magnésie* ($K_2SO_4 + MgSO_4 + 6H_2O$) qui se produit économiquement, à l'état de pureté, surtout dans le traitement de la Camargue, et qui entre pour une forte proportion dans les deux engrais de Stassfurt ;

3° Le *superphosphate potassique*, mélange complexe préparé à l'usine Grüneberg, et renfermant la presque totalité des éléments essentiels à la constitution des végétaux.

La première de ces substances doit être préférée pour les transports à très-grandes distances ; la seconde, plus complète et plus économique, mais beaucoup moins riche en potasse, se prête très-bien à la culture et au transport dans un certain rayon de production ; la troisième a sa raison d'être dans la simplification qu'elle entraîne pour l'

accoutumé à l'engrais au phosphore, l'acceptera plus facilement, et appréciera, par son usage, tout le bénéfice qu'il peut retirer de l'emploi des sels de potasse; mais elle nous paraît destinée à disparaître par suite des progrès mêmes qu'elle aura provoqués, le mélange direct, fait par l'agriculteur lui-même, pouvant être presque toujours et plus économique et plus rationnel.

Nous terminons en donnant l'analyse et les prix de vente de tous ces engrais potassiques dont la constitution est représentée graphiquement sur la fig. 14.

Substances minérales renfermées dans 100 parties de divers engrais potassiques.

PRIX DE VENTE.

a) A l'usine Merle et compagnie, salines de la Camargue.

bbb) A Stassfurt. Le prix de transport de Stassfurt à Hambourg s'élève (par 100 kilog.) à 2 fr., celui de Stassfurt à Cologne, à 2^f,75 environ.

c) A Cologne.

Ce tableau montre que les sels de Stassfurt, pris à l'usine, sont jusqu'à présent encore un peu moins chers que ceux de la Camargue; mais nous n'hésitons pas à croire que si les salines de l'Hérault se trouvaient en présence d'une consommation régulière, elles ne tarderaient pas à fournir les engrais de potasse à des prix analogues à ceux de Stassfurt.

C. — Résultats obtenus. — Conclusions.

L'emploi agronomique des sels de potasse, et surtout celui des produits de Stassfurt sont encore trop récents pour que l'on puisse formuler d'une manière précise l'étendue des avantages que l'agriculture pourra en retirer. Néanmoins, les expériences déjà faites sont si importantes, les résultats obtenus si décisifs, que l'on peut, dès aujourd'hui, pressentir la portée du rôle que ces engrais sont appelés à jouer dans l'avenir.

C'est à M. Liebig que l'on doit les recherches les plus anciennes et les essais les plus nombreux; nous ne citerons que ceux qu'il a faits, en 1863, dans le jardin botanique de Munich.

Trois caisses de très-grandes dimensions furent remplies de terre végétale tourbeuse, qui venait de donner une très-belle récolte d'orge. La première ne fut point fumée, la seconde reçut, comme engrais, du phosphate, du sulfate et du carbonate d'ammoniaque, et la troisième un mélange complexe renfermant de l'acide phosphorique, de la potasse, de la soude et du gypse. Le but principal de l'expérience étant la recherche de la cause de la maladie chez la pomme de terre, on planta cette dernière dans les trois caisses, et l'on obtint les résultats suivants :

	CAISSE N° 1. Sans fumier.	CAISSE N° 2. Engrais ammoniacal.	CAISSE N° 3. Engrais à la potasse et au phosphore.
Parties vertes.	1.637 parties.	3.589 parties.	2.780 parties.
Pommes de terre.	2.529 —	3.062 —	7.201 —
Rendement calculé en pommes de terre par hectare.	146 q. mét.	168 q. mét.	400 q. mét.

L'engrais simultané au phosphore et à la potasse avait donc triplé la fertilité du sol. Mais ce ne fut pas tout: les tubercules obtenus dans les deux premières caisses furent atteints de la maladie; ceux de la troisième, au contraire, restèrent parfaitement sains, et se conservèrent sans présenter aucune trace d'altération.

Les expériences suivantes dues à M. G. Ville conduisent à des conclusions analogues pour les céréales. Après avoir préparé trois sols, dont les deux premiers étaient entièrement dépourvus, l'un de magnésie, l'autre de potasse, et dont le troisième avait au contraire reçu un engrais minéral renfermant ces deux substances, M. Ville fit germer dans chacun d'eux 42 grains de blé. Les trois récoltes obtenues pesèrent : la première, 7 grammes ; la deuxième, 9 gram. ; la troisième, 20 grammes. Ici encore l'engrais minéral complexe avait plus que doublé la fertilité du sol.

Si nous mettons en parallèle avec cette expérience, celles mentionnées plus haut, de M. de Rimpan sur la même culture, de M. Grouven sur le trèfle et de M. Kohne sur les betteraves, nous voyons que, dans un grand nombre de cas, les engrais minéraux sont un remède énergique et radical contre les maladies dont les végétaux sont atteints, et dont il faut précisément chercher la cause dans l'épuisement du sol en sels de potasse.

Mais les expériences les plus sérieuses, et en même temps les plus concluantes sur l'influence de l'engrais à la potasse, sont celles qui sont faites depuis deux ans sur les vastes champs de betteraves dépendants de la fabrique de sucre de Waldau.

Voici d'abord le tableau résumé des résultats obtenus en 1863, sur des terres de bonne qualité ne présentant aucun indice d'épuisement, et servant depuis quelque temps à la culture de la betterave. Les récoltes antérieures avaient été : en 1861, trèfle, puis fumure énergique ; en 1863, sarrasin.

Comparaison des résultats obtenus par les divers engrais phosphatés et le sel de potasse (1885)

NUMÉROS des parcelles.	ENGRAIS phosphaté par quintal.	BETTE- RAVES récoltées par hectare.	TENDRE ou sucro du suc de betterave.	QUANTITÉ de sucro obtenue par hectare.	PRIX de l'engrais par hectare.
	Engrais.	Quintaux métriques.	Pour 100.	Quintaux métriques.	Fr.
1	"	340	9,01	27,40	"
11	"	364	10,52	30,86	"
2	75 guano.	370	11,42	32,56	112,50
3	25 guano.	360	10,80	36,32	112,50
4	100 hyperphosphate. . .	332	12,45	41,06	112,50
5	83 bœker guano. . . .	332	12,45	41,06	112,50
12	25 guano du Pérou. . .	340	12,90	39,48	101,50
13	225 cendres de bois. .	340	12,90	39,48	101,50
14	100 sel de potasse. . .	328	13,47	44,30	30,00

Cette première série d'expériences montrait que l'emploi du sel de potasse comme engrais pour la culture des betteraves, présentait de grands avantages sur celui du guano, mais elle n'était pas aussi concluante qu'on eût pu le croire au premier abord, parce que le sel de potasse avait été enfoui dans un sol qui avait déjà fréquemment été fumé au guano, et que par suite les résultats obtenus ne pouvaient pas être attribués exclusivement à l'influence de l'engrais alcalin.

On fit donc une nouvelle série d'essais l'année suivante, pour étudier d'une manière plus précise l'augmentation due à la présence du sel de potasse.

Les parcelles furent toutes fumées au guano, une d'elles fut divisée en deux parties, dont l'une reçut un surplus de sel de potasse, en proportion égal à celui de l'engrais phosphaté. — Les résultats obtenus sont consignés dans le tableau suivant :

II. — Influence de l'addition des sels de potasse aux engrais phosphatés (1864).

Désignation des champs.	Culture antérieure.	Engrais phosphaté par hectare.	Sels de potasse ajoutés par hectare.	Proportion de matière sucrée dans 100 parties de son des betteraves.	Production moyenne de sucre par hectare.	Excès de sucre du au sel de potasse.	Prix supplémentaires occasionnés par le sel de potasse		Observations.
							par quintal métrique de sucre excédant	par hectare.	
		kilog.			quint. métrique.	kilog.	fr.	fr.	
Mittelstreuers-feld.	sarrasin.	100 hyperphosphate.	0	12,82	32,00	0	0	0	olasse a aison de al métri-
			200	16,20	40,40	810	8,3	1,05	quo, compo- de :
			0	13,17	38,58	0	0	0	Prix d'achat à l'usine de Stassfurt. 3,75
Kammerheid - Trift	orge.	200 guano.	200	15,25					Transport. . . 0,625
n° 5.			200	14,45	36,44	350	8,3	2,60	4,375
			200	14,24					La quantité de bette- raves obtenue par hec- tare étant sensiblement constante et égale à 252 quintaux métriques environ.
			200	14,45					
Warthe.	orge.	100 hyperphosphate.	0	13,80	33,20	0	0	0	
			00	14,38	35,92	272	8,3	3,20	
			0	14,14	36,00	0	0	0	
Bullenstedt.	orge.	300 guano.	200	15,65	39,08	306	22,0	7,50	

Ces expériences montrent que l'emploi simultané du guano et des sels de potasse comme engrais a pour effet principal d'augmenter la proportion de sucre contenue dans le jus de betteraves ; malheureusement elles sont loin d'être complètes, et leur imperfection principale est de ne fournir aucun renseignement sur les proportions dans lesquelles il faut mélanger les deux engrais minéraux. Le rapport adopté dans les terres dépendantes de la fabrique de Walldau nous paraît beaucoup trop riche en phosphore, et nous pensons qu'il eût été possible de trouver des mélanges plus économiques et tout aussi efficaces que ceux dont on s'est servi.

Pour résoudre cette question de la manière la plus générale, M. Grüneberg a proposé une solution théorique, qui ne tient compte que des sels enlevés par les récoltes, et qui présuppose la nécessité de restituer au sol toutes les substances salines absorbées par la culture, et cela à l'aide des deux produits principaux de l'usine, le *sel de potasse* et le *superphosphate potassique*.

Cette hypothèse conduit aux mélanges représentés par le tableau suivant :

CULTURE.	RAPPORT DES DEUX ENGRAIS.		QUANTITÉ à employer par hectare en quintaux métriques.
	Superphosphate potassique.	Engrais de potasse.	
Betteraves.	1	11,0	21
Pommes de terre. "	1	11,0	16
Trèfle.	1	9,0	18
Prairies.	1	9,0	12
Céréales.	1	5,0	5
Navette.	1	4,5	16
Tabac.	1	16,0	10
Houblon.	1	6,0	8
Coux.	1	5,0	8

Il est évident que ce n'est là qu'un premier aperçu, car

la nature des engrais doit être appropriée non-seulement à la culture, mais encore au sol qui produit cette dernière, et la restitution doit varier, avec la nature du terrain, dans les proportions différentes pour chacun des sels renfermés dans l'engrais.

Aussi tous les tableaux que nous avons cités sont-ils avant tout d'importants jalons, marquant la route ouverte aux efforts de l'agriculture et le champ d'études dans lequel elle fera ses conquêtes les plus fécondes. Mais en attendant que ce travail, entrepris sur une vaste échelle en plusieurs points de l'Europe, et notamment dans l'Allemagne du Nord, permette de proclamer des résultats positifs à cet égard, nous devons nous borner, en résumant ce qui précède, à formuler les conclusions suivantes :

1° Il y a un avantage sérieux et un intérêt réel pour l'agriculture à employer, conjointement avec le guano, les sels de potasse comme engrais, chaque fois que l'on cultive, d'une manière continue, des plantes absorbant beaucoup d'alcalis, telles que le tabac, la betterave, la vigne, les pommes de terre, la navette et, à un degré moindre, toutes les céréales.

2° La potasse contribue énergiquement à la formation des hydrocarbures dans les végétaux; elle augmente la proportion de sucre dans les betteraves et celle de la matière amy-lacée dans les pommes de terre.

3° Son emploi est un remède rapide et sûr contre certaines maladies dont sont atteints aujourd'hui la plupart des végétaux qui ont besoin de potasse pour leur développement.

4° La magnésie joue un rôle analogue, quoique moins important; elle se concentre surtout dans les graines, et sa présence est nécessaire dans les sols produisant des céréales. Employée conjointement avec le guano, elle a également pour avantage de transformer les composés ammoniacaux de l'engrais de ferme en sels fixes, solubles, dans les li-queurs carbonatées.

5° Sauf le cas d'un sol particulièrement riche en phosphore, tel que la craie inférieure, par exemple, l'engrais minéral le plus complet est celui qui est formé par un mélange de matières phosphatées et de sels de potasse et de magnésie, dans des proportions variables avec la culture et la nature du sol.

6° Les substances qui, dans l'état actuel de l'industrie, se rapprochent le plus de l'engrais potassique rationnel sont le *sulfate double de potasse* et de *magnésie* et les deux produits accessoires du traitement de la Carnallite et de la Kierserite à Stassfurt, et en particulier à l'usine Gröneberg, le *sel de potasse* (*kali salz*) et l'*engrais de potasse* (*kali dünger*). Leur prix est assez modeste pour permettre à l'agriculture d'en faire une consommation régulière, et elles nous paraissent destinées à jouer un rôle important en agromonie; la première dans tout le bassin de la Méditerranée, les deux autres dans une grande partie de l'Allemagne, en Belgique et peut-être dans le nord de la France.

NOTE

sur le INCINÉRAIRE ALCAÏQUE DE M. HENRI.

Par M. H. HENRI, auteur des notes.

La compagnie des forges de la Franche-Comté possède dans le département de l'Yonne deux usines pour la production des fontes au coke : quatre de ces usines ont 15 mètres de hauteur et sont groupées à Rans ; la cinquième est à enveloppe de tôle, a 10 mètres de hauteur, et est établie à Fraisans, où les dispositions ont été prises pour monter en temps voulu un second haut fourneau du même système. Ces deux usines, qui ne sont distantes l'une de l'autre que de 4 kilomètres, sont placées sous l'habile direction de M. Minary, dont le nom a été souvent prononcé dans ce recueil.

La charge moyenne est formée de 75 p. 100 de minéral oolithique en roche et de 25 p. 100 de minéral pisiforme non lavé, dont la gangue renferme encore 18 p. 100 de fer, et qui donne avec le précédent de très-bons laitiers. Ces deux gisements appartiennent respectivement à l'oolithe ferrugineuse et au terrain tertiaire supérieur, sont situés aux abords des lignes de fer qui relient Ougney à Fraisans et à Rans, et dont la plus grande longueur est de 18 kilomètres. Malheureusement la composition de la charge n'est pas riche et ne rend au fourneau que 25 p. 100 de fonte : il résulte de là un excès de dépense en combustible que l'on ne peut pas éviter, et l'inconvénient d'un grand encombrement de laitier.

Un quintal métrique du lit de fusion donne 48 kilog. de laitier renfermant 18 kilog. de chaux, 18 kilog. de silice,

9 kilog. d'alumine et 3 kilog. de magnésie, oxyde de fer, etc., de sorte qu'à une tonne de fonte correspond 1',92 de laitier.

Chacun des hauts fourneaux de Rans produisant journellement en moyenne 20 tonnes de fonte, donne en même temps lieu à 38 tonnes de laitier qui représentent un volume de 20 mètres cubes en évaluant avec Genieys à 1.485 kilog. le poids du mètre cube.

La production en fonte à Fraisans est plus forte d'un cinquième qu'à Rans. de sorte que lorsque les cinq hauts fourneaux de la compagnie des forges de Comté sont simultanément en activité, ils donnent journellement naissance au volume énorme de 105 mètres cubes de laitier.

Jusque dans ces derniers temps, les laitiers s'écoulaient au dehors sur le sol où ils s'accumulaient en masse, surtout pendant la nuit, leur enlèvement ne pouvant s'effectuer que de jour. En hiver notamment, il fallait à la reprise du travail du matin débayer par fourneau 13 ou 14 mètres cubes de matières vitrifiées résistant au pic touchant à un fluide incandescent plus ou moins visqueux, sur lequel il était nécessaire de jeter de l'eau pour en rendre les abords accessibles. Ce travail, extrêmement pénible pour l'ouvrier, était de plus fort onéreux, et le décrassage pour chaque fourneau exigeait l'emploi de quatre piqueurs et chargeurs, d'un charretier et d'un cheval, soit une dépense journalière de 25 francs, y compris l'entretien des outils et des charrettes.

Description du décrasseur. — M. Minary, frappé de ces inconvénients, a cherché à s'en affranchir et a été assez heureux pour trouver un procédé d'une facile application, et qui depuis deux ans a été successivement appliqué aux cinq hauts fourneaux précités. A cet effet le laitier se rend du fourneau dans un chéneau en fonte *a* (fig. 1, Pl. II) dont l'extrémité est fermée, mais qui un peu en deçà est percé au fond d'un trou par lequel la matière s'écoule. Cette disposition a pour objet d'éviter les obstructions.

Le filet incandescent tombe dans une sorte d'entonnoir en fonte *b* présentant à sa partie supérieure un boudin dans lequel circule un courant d'eau qui alimente quatre ou cinq jets rapides dirigés suivant des génératrices de la surface conique intérieure de la pièce; les particules liquides par leur vitesse acquise détruisent le filet, dont les éléments refroidis en même temps se rendent avec l'eau par un chéneau *c* légèrement incliné, dans une capacité en tôle *d*; les laitiers s'étonnent, et la rapidité de leur mouvement d'entraînement avec l'eau dans ce chéneau accuse très nettement une action mécanique de la chaleur; arrivés dans la capacité *d*, ils se trouvent divisés en fragments de la grosseur de grains de sable. Une chaîne-à godets *e* mise en mouvement par une petite machine à vapeur verticale *f* élève la matière ainsi divisée, et la rejette dans un wagon à bascule *g* que l'on dirige, lorsqu'il est rempli, vers les crassiers ou les points où le laitier sablonneux peut être utilisé.

L'eau employée ne nécessite aucune dépense, puisqu'elle provient du trop-plein du monte-charge, ou du lavage des gaz, ou du réfrigérant des tuyères. Les gaz du haut fourneau sont d'ailleurs bien suffisants pour alimenter, en sus de la machine soufflante, le moteur de la chaîne à godets, dont la puissance atteint à peine un demi cheval.

Économie réalisée. — On est ainsi arrivé à supprimer pour les cinq hauts fourneaux vingt ouvriers piqueurs et chargeurs, ainsi que cinq maréchaux, charrons occupés à l'entretien et au renouvellement de l'outillage; de plus on a pu faire arriver les grandes lignes de fer dans l'intérieur des usines, employer des wagons de déblai de grandes dimensions, et dont la hauteur est inaccessible au jet de pelle, et enfin comme conséquence utiliser un cheval et son conducteur pour plusieurs fourneaux. Le dégrasseur se trouve sous l'unique surveillance du fondeur et son entretien atteint au plus 2 francs par jour, et en définitive en faisant entrer en ligne de compte l'amortissement de la dépense première, il

a permis de réaliser annuellement par fourneau, sur l'ancien état de choses, une économie de 5 à 6.000 francs.

Emploi des laitiers arénacés comme ballast. etc. — Les sables obtenus, dont la couleur varie depuis le blanc salé jusqu'au brun foncé ou au noir, sont composés de fragments anguleux spongieux et friables ; ils pèsent environ 1.200 kilog. le mètre cube. M. Minary s'en est d'abord servi pour ensabler les usines qu'il dirige et qui ont actuellement un cachet de propreté inusité dans les établissements de hauts fourneaux. La compagnie des chemins de fer de Lyon en a fait usage comme ballast sur les sections qui relient Rans et Fraisans à Labarre, et pour recouvrir les pierres cassées, qui se prêtent difficilement à la marche aux abords de quelques gares de la ligne de Dijon à Belfort. Dernièrement l'administration municipale de Besançon en a fait venir par bateaux, de 500 à 600 mètres cubes pour ensabler celles des principales promenades de la ville où a eu lieu l'exposition du concours régional ; malgré un transport à la remonte de 30 kilomètres, elle a réalisé dans cette opération une économie, sur l'emploi des sables du Doubs extraits à la drague, de 1.000 à 1.200 francs, et sous un autre rapport les promeneurs s'en sont très-bien trouvés.

Des laitiers arénacés comme pouzzolanes. — A la fin de l'article relatif aux pouzzolanes de la troisième édition du *Traité de chimie* de MM. Pelouze et Fremy, nous trouvons la proposition suivante :

« Les argiles crues ou cuites ne peuvent pas en général se comporter comme bonnes pouzzolanes. Il paraît trait plus rationnel de chercher à utiliser les laitiers des hauts fourneaux, les scories des forges et les autres silicates artificiels analogues, c'est-à-dire facilement et complètement attaquables par les agents de la voie humide. »

On a reconnu depuis que les services de forges doivent être retranchés de cette nomenclature ; et des produits ac-

cessoires de la métallurgie du fer, il ne reste plus que les laitiers pour lesquels M. Minary a résolu le problème.

Les laitiers de Rans et de Fraisans sont ainsi composés :

Silice.	0,37 à 0,40
Alumine.	0,18 à 0,20
Chaux.	0,38 à 0,44
Magnésie.	0,02 à 0,06
Soufre, acide phosphorique, protoxyde de fer, peroxyde de magnésie.	0,02 environ.

Ils sont de plus complètement inattaquables par l'acide chlorhydrique, et la silice gélatineuse se manifeste en grande quantité dans la liqueur.

M. Fremy, dans un remarquable travail dont il a publié un extrait dans le compte rendu de la séance du 15 mai de l'Académie des sciences, pose en principe que « les véritables pouzzolanes sont les silicates qui ne contiennent que 30 et 40 p. 100 de silice et qui sont assez basiques pour faire gelée avec les acides. »

Les laitiers dont nous nous occupons remplissant ces deux conditions doivent par suite être rangés dans la catégorie des bonnes pouzzolanes; nous devons ajouter que 100 grammes de laitier blanc porphyrisé mis en digestion pendant quarante-huit heures dans 100 grammes d'eau qui contenait 0^m,150 de chaux a fixé 0^g,052 de cette base, en d'autres termes, à la fin de l'opération l'eau ne contenait plus que 0^g,098 de chaux.

Les laitiers arénacés ont été essayés dans la confection du mortier par plusieurs entrepreneurs de travaux publics de la ville de Besançon; les expérimentateurs m'ont avoué qu'ils avaient obtenu d'excellents résultats, mais ils ont reproché aux laitiers de prendre plus de chaux que le sable du Doubs, et ils y ont renoncé d'une manière générale. Il convient d'ajouter que les sables du Doubs sont des galets calcaires souvent d'assez fortes dimensions, qui ne prennent

pas de chaux du tout, et qui donnent des mortiers détestables, comme j'ai été trop souvent à même de le constater; beaucoup de propriétaires ne sont pas victimes de cette routine qui ne tourne pas à leur avantage, et exigent l'emploi des laitiers arénacés ou en font venir de leur chef.

Une personne digne de foi qui occupe dans les sciences physiques un rang distingué, m'a déclaré qu'à la suite d'une réparation dans sa propriété, elle avait fait mettre sous la forme d'un parallépipède rectangle aplati le mortier à base de laitier qu'elle n'avait pu utiliser, et que, au bout de très-peu de temps elle avait obtenu une dalle résonnant sous le marteau comme si elle avait été en calcaire très-sain.

Il est manifeste que pour faire rendre aux laitiers étonnés leur maximum d'effet comme pouzzolanes, il faut les employer à l'état pulvérulent; et pour arriver à ce résultat il suffit d'établir entre le point de versement de la chaîne à godets et le wagon récepteur, comme on l'a fait pour l'un des fourneaux de Rans, une trémie surmontant deux petits cylindres broyeurs mis en mouvement par la machine du décrasseur.

Application à l'agriculture. — Les agronomes s'accordent généralement à reconnaître que c'est par l'intervention de l'acide carbonique que les plantes empruntent au sol les éléments minéraux nécessaires à leur constitution. Or en faisant digérer pendant quarante-huit heures 100 grammes de laitier étonné dans de l'eau de Selz, on a reconnu que le poids de la machine solide avait perdu 1^{er},600; il y a donc tout lieu de croire que cette matière pourra rendre comme amendement des services à l'agriculture, notamment à la culture des plantes dans la constitution desquelles la silice joue un rôle important, et qu'elle permettra d'atténuer ce que l'on nomme la *verse des blés*, très-fréquente dans les terrains presque exclusivement calcaires comme la plus grande partie de ceux qui constituent les départements du Doubs et du Jura. C'est dans ce but qu'un certain nombre

de cultivateurs des environs de Rans sont venus spontanément demander à faire des emprunts au crassier des hauts fourneaux de Rans, autorisation qui leur a été largement accordée.

Tel est l'exposé sommaire des avantages que présente le dégrasseur mécanique de M. Minary, et sur lesquels j'ai cru utile d'appeler l'attention de nos producteurs de fonte.

NOTE

SUR DES POMPES SERVANT A L'ALIMENTATION DE LA DISTRIBUTION
D'EAU DE LA VILLE DE PÉRIGUEUX.

Par M. HARLÉ,

Ingénieur en chef des mines.

M'étant trouvé chargé, en 1859, de faire construire des pompes pour l'alimentation de la distribution d'eau de Périgueux, j'eus à rechercher le meilleur système à employer, et j'ai pensé qu'il pourrait peut-être y avoir quelque utilité à faire connaître la disposition adoptée dans cette circonstance, qui me paraîtrait avantageusement applicable même aux distributions d'eau les plus importantes qu'on pourrait avoir à établir (*).

L'eau distribuée à Périgueux est fournie par une source située à 2 kilomètres de la ville, au pied du coteau qui borde la vallée de l'Isle du côté du Nord. Des pompes mues par une roue hydraulique élèvent l'eau à une hauteur de 31 mètres où elle se déverse dans une conduite en maçonnerie qui se développe à mi-côte, le long du flanc du coteau, et après avoir traversé trois petits vallons sur des aqueducs en arcades, cette conduite, à son arrivée en ville, débouche dans un réservoir de 450 mètres cubes de capacité servant de point de départ à la distribution intérieure de la ville.

Près de la source, dont l'eau est réservée pour être élevée, s'en trouvent d'autres dont les eaux sont réunies dans un petit étang au sortir duquel le cours d'eau, nommé le

(*) La distribution d'eau de Périgueux est maintenant disposée pour pouvoir, au besoin, fournir 1.500 mètres cubes par jour à une population de 15.000 habitants.

Toulon, que forment ces sources, fournit la force motrice à la machine hydraulique en tombant directement sur la roue. La hauteur de la chute est de 2 mètres, et l'on peut admettre environ 400 litres à la seconde pour le maximum de débit en hiver.

Une première machine hydraulique qui fut montée en 1835, au moment où l'on établissait la distribution d'eau, se composait d'une roue à la Poncelet, en fer, faisant mouvoir une pompe horizontale à double effet au moyen d'une manivelle montée directement sur l'arbre de la roue. Cette machine ne s'étant pas trouvée assez solide pour assurer l'alimentation de la distribution, on établit à côté d'elle, en 1842, une nouvelle machine beaucoup plus solide, également avec une roue en fer à la Poncelet, mais avec deux pompes verticales à simple effet dont toutes les parties en mouvement se contre-balancent. Cette seconde machine peut en hiver, lorsque les sources sont abondantes, élever 600 mètres cubes d'eau par jour, et, dans cette saison, son produit fournissait largement ce que réclamait d'eau la distribution telle qu'elle était organisée; mais en été, au moment où les sources baissent tandis que la consommation de la ville demanderait beaucoup plus d'eau, la force motrice se trouve réduite au point de ne plus faire élever à cette machine que 400 mètres cubes au plus, et il y avait alors grande insuffisance dans la distribution.

Afin de remédier à cet état de choses qui, chaque été, donnait lieu à des plaintes, l'administration de la ville, en 1859, se décida à faire démonter la vieille machine de 1835, encore conservée jusque-là pour servir au cas d'un arrêt de la machine de 1842, et à la remplacer par une nouvelle machine disposée de manière à tirer en tout temps le meilleur parti de la chute (*) et à pouvoir y ajouter l'aide d'une

(*) Tandis que la chute d'eau n'élève que 25 mètres cubes d'eau à l'heure avec l'ancienne machine de 1842, elle en élève 45 avec la nouvelle machine de 1859.

machine à vapeur dans les moments d'insuffisance du cours d'eau, la machine à vapeur devant aussi, au cas d'accident ou de réparation, pouvoir mener les pompes à elle seule, indépendamment de la roue hydraulique, et la machine de 1842 restant en réserve au cas d'accident aux nouvelles pompes.

Nous avons regardé comme le moyen le plus simple et en même temps le meilleur d'utiliser cette chute d'eau de 2 mètres, surtout en raison de l'irrégularité de son débit, l'emploi d'une roue à aubes exactement emboîtée dans un coursier circulaire sur toute la hauteur de la chute et recevant l'eau par une vanne en déversoir; nous avons donné à cette roue 4^m,50 de diamètre; nous avons placé son centre à 0^m,15 au-dessus du niveau de la retenue, et, ne lui ayant donné que 2^m,10 de largeur, on a pu ne mettre que deux couronnes pour porter l'aubage : ces couronnes sont en fonte, supportées chacune par six bras en fer, et ces bras sont boulonnés sur deux plateaux en fonte ajustés sur un arbre en fer. L'aubage en bois, composé de 42 aubes avec contre-aubes, est tenu au moyen de coyaux en fonte boulonnés sur les couronnes, et des tirants obliques, prenant d'un côté et de l'autre sur le milieu de l'aubage, donnant à tout l'ensemble une grande rigidité : les aubes dressées sur un calibre passent aussi juste que possible dans le coursier construit en pierres de taille et lui-même dressé sur calibre (*).

Pour élever l'eau, nous avons adopté, comme on l'avait fait dans la machine de 1842, un système de deux pompes verticales, accouplées de manière que les pièces en mouvement de l'une fassent équilibre à celles de l'autre dans le

(*) Pour que cet ajustage soit très-exact, il faut que l'arbre de la roue soit assez fort pour ne pas éprouver de flexion appréciable lorsque la roue reçoit sa charge d'eau. A cet égard, un arbre creux en fonte serait préférable à un arbre mince en fer forgé.

jeu alternatif des pistons ; mais nous avons donné à ces pistons une position renversée, et le mouvement est transmis de la roue hydraulique aux pompes, avec une accélération au triple, par un grand engrenage de 3 mètres de diamètre conduisant les pignons d'un mètre de deux arbres terminés par les manivelles auxquelles sont attachées les bielles des pompes.

L'aide de la machine à vapeur (*) est donnée, quand on en a besoin, par un petit pignon monté sur un arbre commandé par cette machine, et qu'on peut faire glisser sur son arbre pour le faire engrener à volonté avec le grand engrenage de 3 mètres.

Les pompes ont été établies sur le modèle de celles de la mine de Himmelfarth, à Freyberg, de la construction de M. Brendel, et dont M. Combes a donné la description dans son *Traité de l'exploitation des mines*, (t. III, p. 181), seulement, au lieu de placer une boîte à soupapes au-dessus de chaque corps de pompe, nous avons rendu notre boîte à soupapes commune aux deux corps de pompe en la plaçant entre eux deux, pour servir en même temps à les relier, et nous y avons réuni quatre soupapes à clapet, la soupape d'aspiration de chaque côté se trouvant au-dessous de la soupape d'ascension correspondante, toutes les deux inclinées en sens inverse à 45 degrés. (Pl. I, fig. 2 à 5.)

L'eau arrive d'une bache où son niveau n'est guère que de 18 centimètres au-dessous de la partie supérieure des corps de pompe, et par la partie inférieure de la boîte aux

(*) La ville de Périgueux a fait l'acquisition d'une petite machine à vapeur horizontale, à détente variable, sans condensation. Le piston a 20 centimètres de diamètre ; la course est de 40 centimètres ; la tension de la vapeur, de 6 atmosphères et demie ; la vitesse, de 80 tours à la minute. En réduisant l'introduction de la vapeur à un quart de la course, cette machine produit une force de 4 chevaux et demi, et l'on peut porter sa force à 6 chevaux et demi en étendant l'introduction à la moitié de la course. La chaudière a 9 mètres de surface de chauffe.

soupapes elle entre, sans qu'il y ait besoin d'aspiration, dans l'espace triangulaire compris entre les soupapes d'aspiration qui lui ouvrent alternativement un passage pour aller remplir l'un ou l'autre des corps de pompe. Elle rentre ensuite par les soupapes d'ascension dans la partie supérieure de la boîte comprise entre ces deux dernières soupapes, et au-dessus de cette partie de la boîte s'élève le tuyau d'ascension.

Ce système de boîte à soupapes que nous avons rencontré dans les machines d'épuisement de M. Schitko, à Schemnitz, en Hongrie (*), forme des deux pompes qu'il relie un ensemble très-solide qu'on peut ensuite fixer facilement soit au moyen de pièces de bois dans l'intérieur d'un puits (**) soit sur une plaque de fondation comme nous l'avons fait à Périgueux.

Les corps de pompe terminés à leur partie inférieure par un rebord extérieur formant une base carrée posent par cette base sur la plaque à laquelle ils sont reliés par des boulons placés dans les angles du carré, et au-dessous de chaque corps de pompe se trouve dans la plaque une ouverture circulaire pour le passage du piston plongeur renversé, et aussi pour la mise en place sous la base du corps de pompe des deux pièces qui forment la boîte de friction du piston.

La plaque de fondation est posée sur des massifs en pierre

(*) *Beiträge zur Bergbaukunde*, von Joseph Schitko, Zweites Heft. Wien, 1834.

(**) On peut voir dans un puits de l'Hôtel-Dieu de Caen des pompes du même genre, que j'ai été chargé par la ville d'y faire monter vers la fin de 1852. Une petite machine à vapeur oscillante est placée sur le bord de l'orifice du puits, et un petit pignon, monté sur l'extrémité de l'arbre du volant s'avancant en avant du bord du puits, sert à mener deux engrenages qui, portés par les extrémités de deux arbres tenus par des paliers faisant corps avec le bâti en fonte de la machine à vapeur, forment les manivelles auxquelles sont attachées les tringles descendant dans le puits pour donner le mouvement aux pompes. Cette machine est une véritable machine d'épuisement de mine.

de taille auxquels elle est attachée par quatre grands boulons, et le poids de l'ensemble des pompes dont elle se trouve chargée contribue à sa stabilité, sans compter que pour détruire l'effort des bielles des pompes qui, en soulevant les pistons pour refouler l'eau, tendraient à soulever la plaque, on a posé sur cette plaque deux colonnes en fonte formant les supports, au-dessous des paliers des arbres de manivelles, et tout contre ces manivelles, d'un sommier en fonte sur lequel sont posés les paliers.

En plaçant les pompes le plus bas qu'on a pu avec les manivelles au-dessus des corps de pompe, et faisant conduire les plongeurs par le bas, on est arrivé à donner aux bielles une longueur de 3^m,15 tout en rapprochant le plus possible les unes des autres les différentes parties de la machine.

Chaque bielle se compose d'une première tringle attachée par le haut au mentonnet de la manivelle et terminée par une traverse horizontale des extrémités de laquelle partent deux longues tringles qui, passant le long du corps de pompe qu'elles embrassent et traversant la plaque de fondation dans deux ouvertures longues et étroites placées en dehors de l'ouverture circulaire dont il a été question un peu plus haut, vont saisir les extrémités d'une traverse horizontale inférieure au milieu de laquelle est fixée la tige qui porte le piston plongeur. Le mouvement de la traverse inférieure est guidé verticalement par des glissières fixées au-dessous de la plaque de fondation, et pour maintenir la tige du piston toujours verticale, on a fait traverser à son prolongement au-dessus du piston une boîte de friction à cuir ouverte au centre du couvercle du corps de pompe.

Dans cette machine les plongeurs ont 22 centimètres de diamètre avec 90 centimètres de course, ce qui donne environ 34 litres pour la quantité d'eau élevée par la course d'un piston, 68 litres pour un coup de piston des deux pompes, et 1.500 mètres cubes d'eau par jour pour une vi-

tesse d'un peu plus de 15 coups de piston à la minute : le nombre correspondant de tours de la roue hydraulique est de 5 à la minute avec une vitesse à la circonférence de $1^{\text{m}},77$ par seconde, et le travail utile de la machine serait dans ces conditions de 17 litres élevés à 31 mètres par seconde, soit de 527 kilogrammètres.

La longueur du bras des manivelles ($0^{\text{m}},45$) s'est trouvée déterminée par la course des pistons, et par là s'est aussi trouvé déterminé l'écartement ($1^{\text{m}},15$) à donner aux axes des arbres de ces manivelles en ne laissant que tout juste la place du passage des deux manivelles à leur point de croisement.

Cet écartement est celui qu'on devait également donner aux axes des corps de pompe, et l'on a ensuite tiré tout le parti qu'on a pu de l'espace laissé disponible entre deux pour augmenter le plus possible les dimensions de la boîte aux soupapes et des soupapes qu'elle renferme : pour obtenir plus de largeur, on a aussi eu recours à un évasement des tubulures ouvertes dans les côtés des corps de pompe sur lesquelles est boulonnée la boîte aux soupapes.

Les soupapes se composent d'un cadre en fonte bien dressé et poli sur lequel est fixé avec des vis par un de ses côtés formant charnière un clapet en cuir garni dessus et dessous de plaques de fer, et ces soupapes sont boulonnées sur des rebords venus à la fonte dans l'intérieur de la boîte où ils forment une croix dont les bras rectangulaires entre eux sont inclinés à 45 degrés. Cette disposition a permis de dresser les faces des rebords sur lesquels les soupapes sont fixées avec interposition d'une plaque mince de caoutchouc, et d'y percer les trous nécessaires. Des regards ont été placés sur les faces antérieures et postérieures aussi bien de la boîte que des tubulures des corps de pompe pour permettre de visiter et de remplacer très-promptement les clapets ; s'il s'agissait de remplacer le cadre d'une soupape, on déplacerait un corps de pompe.

L'ouverture de ces soupapes est un carré de 25 centimètres de côté offrant un orifice de 625 centimètres carrés bien supérieur à la section des tuyaux d'entrée et de sortie de l'eau qui pour un diamètre de 20 centimètres n'est que de 315 centimètres carrés ; mais au lieu de laisser cet orifice complètement ouvert et le clapet complètement plein, nous avons placé au milieu de l'ouverture une partie pleine formant un carré de 14 centimètres de côté, et nous avons ouvert dans le clapet un vide correspondant, en appliquant ainsi aux soupapes à clapet le principe des soupapes à double siège de servir surtout à *augmenter dans la soupape la longueur du contour suivant lequel elle offre un passage à l'eau lorsqu'elle se soulève*, et de manière que pour une même section ouverte au passage de l'eau, section déterminée par la quantité d'eau passant par la soupape pendant une seconde et ayant pour mesure le produit de la longueur du contour multipliée par la quantité dont la soupape s'élève, cette dernière quantité se trouve diminuée en proportion de l'allongement donné à la longueur du contour. Les soupapes, dans les pompes de Périgueux, ont conservé un très-large orifice de près de 400 centimètres carrés en même temps que la longueur du contour d'écoulement qui n'aurait été que de 75 centimètres pour trois côtés de l'ouverture a été portée à 131 centimètres, et avec cette longueur de contour d'écoulement il suffirait que le clapet se soulevât à son centre de 16 à 17 millimètres pour que la section d'écoulement de la soupape fût aussi grande que celle du tuyau d'ascension. La vitesse de l'eau à la fin de chaque coup de piston, lorsque les manivelles approchent des points morts, devient ainsi assez faible et les clapets restent assez peu soulevés pour qu'ils aient tout le temps de se refermer complètement avant que le piston ne commence à redescendre ; aussi, pendant la marche des pompes, la fermeture des soupapes se fait-elle sans qu'on puisse s'en apercevoir.

Nous appellerons ici l'attention sur l'importance du rap-

port à établir entre la longueur du contour d'écoulement des soupapes et le débit des pompes, et on remarquera que lorsqu'on donne un accroissement de vitesse à une pompe, on diminue ce rapport dont l'insuffisance devient bientôt le principal obstacle qui limite la vitesse qu'il ne serait pas prudent de dépasser sans s'exposer à des chocs dans les soupapes qui pourraient occasionner des accidents.

C'est la raison pour laquelle on considère en général les grandes pompes comme ne pouvant recevoir qu'une vitesse très-moderée.

A Périgueux, nous avons 131 centimètres de longueur de contour d'écoulement pour un débit de 17 litres à la seconde, ce qui correspond à 77 millimètres pour un litre : avec ce rapport il y a absence complète de choc dans les soupapes.

A Caen, où l'on a établi pour alimenter la distribution d'eau de la ville des pompes marchant à grande vitesse (60 coups de piston à la minute avec une vitesse des pistons de 1^m,60), l'aspiration se fait dans la plus forte de ces pompes par un piston plongeur de 16 centimètres de grosseur avec une course de 80 centimètres, et pour un débit de 16 litres par demi-seconde, soit de 32 litres à la seconde, les chocs étaient d'abord extrêmement forts ; mais par l'emploi de soupapes à double siège en bronze (*). d'un diamètre de 28 centimètres dans la couronne extérieure et de 23 dans la couronne intérieure, soit en tout 160 centimètres pour la longueur du contour d'écoulement, on est parvenu à rendre ces chocs très-faibles : 160 centimètres pour 32 litres correspondent à 50 millimètres pour un débit d'un litre, rapport

(*) On a reconnu que ces soupapes ne se soulèvent que d'un centimètre. La section d'écoulement est donc de 160 centimètres carrés, et la vitesse d'écoulement de 2 mètres sous la pression d'une soupape d'un poids de 38 kilog. dans l'air, soit de 33^m,5 dans l'eau, ce qui correspond à 210 grammes par centimètre de longueur du contour d'écoulement.

moindre qu'à Périgueux, aussi peut-on déjà y sentir au toucher le moment de la fermeture des soupapes.

Dans les pompes de la mine de Himmefarth, à Freyberg, le rapport est encore moindre, la quantité d'eau élevée étant de 11 litres à la seconde pour un contour d'écoulement des soupapes de 36 et 41 centimètres, soit seulement 33 et 37 millimètres de contour d'écoulement par litre : nous serions étonné que dans ces pompes la fermeture des soupapes ne fût pas accompagnée d'un léger choc.

Enfin, dans l'établissement d'Oldford, à Londres, les pompes élèvent environ 370 litres à la seconde pendant la descente du piston avec des soupapes qui, d'après le dessin qu'en a donné M. Combes (*Traité d'exploitation*, Atlas), auraient 1^m,41 de diamètre pour la couronne extérieure et 1^m,14 pour la couronne intérieure, soit un contour d'écoulement de 8 mètres pour les 370 litres élevés et seulement de 21 millimètres par litre. Ce rapport doit être regardé comme beaucoup trop faible, aussi ces soupapes ne sont-elles annoncées dans cette circonstance que comme ayant rendu les chocs *moins violents* qu'auparavant.

Si le poids considérable des soupapes en bronze peut contribuer à en accélérer la fermeture, et par là à diminuer les chocs, il a l'inconvénient de donner lieu à une perte de force par la contraction qu'il fait éprouver à la veine fluide sur laquelle presse la soupape : sous ce rapport encore il me paraîtrait plus avantageux d'employer des soupapes plus légères, mais présentant un plus grand contour d'écoulement.

Revenant aux pompes de Périgueux, je ferai remarquer que la boîte à soupapes est disposée de manière que l'eau, aussitôt les clapets soulevés, trouve de tous côtés un large passage et que l'air qui pourrait se dégager de l'eau ne se trouve pas emprisonné dans la partie supérieure des corps de pompe. Le tuyau d'ascension partant du dessus de cette boîte se recourbe horizontalement, et à un mètre de dis-

tance seulement se trouve la cloche à air, régulateur servant non-seulement à donner une grande régularité au mouvement de l'eau dans la colonne d'ascension, mais surtout à diminuer les inégalités de l'effort que les manivelles ont à exercer dans les différentes positions qu'elles occupent successivement.

La capacité de la cloche de Périgueux est de 400 litres, et l'on peut y maintenir 300 litres d'air, quantité plus grande que ce qui serait nécessaire à l'effet qu'on en attend, mais qui peut donner plus de sécurité contre les conséquences d'un oubli possible de remplir de nouveau la cloche par une introduction d'air lorsque le volume de l'air se trouve diminué.

Un tube en verre, indicateur du niveau de l'eau, sert à faire reconnaître l'espace qu'occupe l'air, et pour l'introduction de l'air nous avons adopté le système d'un réservoir placé au-dessous de la cloche, dont le sépare son fond supérieur formant le fond inférieur de la cloche, et successivement mis en communication, par le haut et le bas à la fois, d'abord avec l'air extérieur qui y entre par le haut et le remplit au fur et à mesure que l'eau, dont ce réservoir avait été rempli dans une opération précédente, s'écoule au dehors par le bas, ensuite avec la cloche par deux tuyaux, l'un partant du bas du réservoir pour s'ouvrir dans la partie inférieure de la cloche occupée par l'eau, et le second partant du haut du réservoir pour s'ouvrir dans la partie supérieure de la cloche. Quand la communication a été ainsi ouverte avec la cloche, l'air qui avait été introduit dans le réservoir sous la pression atmosphérique se trouve comprimé et réduit au quart de son volume sous la pression de la colonne d'eau qui, dans le tuyau d'ascension, s'élève à 31 mètres de hauteur, et à mesure que l'eau du bas de la cloche coulant dans le bas du réservoir vient prendre la place de l'air et remplir ce réservoir, l'air, en raison de sa légèreté, s'échappe du haut du réservoir par le second

tuyau qui le conduit dans le haut de la cloche. On ferme ensuite la communication du réservoir avec la cloche, on la rouvre avec l'air extérieur qui vient de nouveau remplir le réservoir, et l'on continue les mêmes opérations jusqu'à ce que la cloche se trouve suffisamment remplie d'air.

Cette manœuvre se fait par deux robinets à deux eaux, l'un au haut, l'autre au bas du réservoir, et qu'un même levier place à la fois dans l'une ou l'autre des positions qu'ils doivent occuper successivement pour mettre le réservoir en communication, soit avec l'air extérieur, soit avec l'intérieur de la cloche. Ainsi, quand le surveillant des pompes trouve le levier dans l'une de ses positions, il n'a pour continuer l'introduction de l'air dans la cloche qu'à placer le levier dans son autre position, puis à le remettre dans sa première position et à continuer toujours de même.

Désirant donner une idée du degré d'influence du réservoir d'air pour diminuer les variations de l'effort qu'ont à exercer les manivelles pendant qu'elle produisent l'ascension de l'eau, en même temps que les variations de pression dans l'intérieur de la pompe, variations dues à la réaction de l'inertie de l'eau dans la colonne d'ascension contre les irrégularités de l'accélération dans le mouvement des pistons, nous calculerons cette accélération pendant la marche de la pompe entraînée par la roue hydraulique et les manivelles supposées animées d'une vitesse de rotation uniforme, la pompe fonctionnant sans air dans la cloche.

Appelant b la longueur de la bielle, l celle du bras de la manivelle, φ l'angle variable que forme ce bras avec la verticale, $\omega = \frac{\varphi}{t} = \frac{d\varphi}{dt}$ la vitesse angulaire uniforme de la manivelle, la quantité dont le piston s'élève au-dessus de sa position extrême pendant que la manivelle décrit un angle φ a pour valeur :

$$PP' = l + b - l \cos \varphi - \sqrt{b^2 - l^2 \sin^2 \varphi} =$$

$$= l \left(1 - \cos \varphi - \sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi} \right) + b.$$

La dérivée de PP' exprimera la vitesse du piston correspondant à l'angle φ . Appelant u cette vitesse, nous aurons :

$$u = \frac{d(PP')}{dt} = l \left(\sin \varphi \cdot \frac{d\varphi}{dt} + \frac{1}{2} \frac{2 \sin \varphi \cos \varphi}{\sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi}} \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right) =$$

$$= l\omega \left(\sin \varphi + \frac{1}{2} \frac{\sin 2\varphi}{\sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi}} \right);$$

puis prenant la deuxième dérivée, nous aurons pour l'accélération de la vitesse du piston :

$$\frac{du}{dt} = l\omega \left[\cos \varphi \frac{d\varphi}{dt} + \frac{1}{2} \frac{\cos 2\varphi}{\sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi}} \cdot 2 \frac{d\varphi}{dt} + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{4} \frac{\sin 2\varphi \cdot 2 \sin \varphi \cos \varphi}{\left(\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi \right)^{\frac{3}{2}}} \cdot \frac{d\varphi}{dt} \right] = l\omega^2 \left[\cos \varphi + \right.$$

$$\left. + \frac{1}{\sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi}} \left(\cos 2\varphi + \frac{1}{4} \frac{\sin^2 2\varphi}{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi} \right) \right].$$

Maintenant, appelant v la vitesse de l'eau dans les tuyaux d'ascension, ω la section de ces tuyaux et Ω celle des pistons plongeurs, on a :

$$v = u \frac{\Omega}{\omega} \quad \text{et} \quad \frac{dv}{dt} = \frac{\Omega}{\omega} \frac{du}{dt}.$$

C'est à cette accélération $\frac{dv}{dt}$ que la masse de l'eau qui remplit la colonne d'ascension oppose son inertie; la réaction de cette masse sera donc, en appelant s la longueur des tuyaux et g l'action de la pesanteur :

$$\frac{\omega s}{g} \frac{dv}{dt},$$

et elle produira sur l'unité de surface dans la pompe, au bas de la colonne d'ascension, une pression mesurée par une colonne d'eau dont la hauteur, que nous appellerons h' , sera :

$$h' = \frac{\Omega}{\omega} \cdot \frac{s}{g} \frac{l^2 \omega^2}{l} \left[\cos \varphi + \frac{1}{\sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi}} \left(\cos 2\varphi + \frac{1}{4} \frac{\sin^2 2\varphi}{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi} \right) \right].$$

Lorsque le rapport $\frac{b}{l}$ est suffisamment grand, on peut simplifier cette formule en négligeant dans le facteur

$$\left(\frac{1}{\sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi}} \right)$$

$\sin^2 \varphi$ dont la valeur ne peut pas dépasser 1; on pourra négliger de même la faible fraction

$$\left(\frac{1}{4} \frac{\sin^2 2\varphi}{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi} \right),$$

et il restera :

$$h' = \frac{\Omega}{\omega} \cdot \frac{s}{g} \frac{l^2 \omega^2}{l} \left(\cos \varphi + \frac{l}{b} \cos 2\varphi \right) (*).$$

(*) M. Dupuit, négligeant l'effet de la bielle, s'est borné à donner pour la valeur de h' (*Traité de la distribution des eaux*, page 178),

$$h' = 2 \frac{\Omega}{\omega} \frac{l^2 \omega^2}{2g} \frac{s}{l} \cos \varphi.$$

Cette pression h' s'ajoute dans la pompe à celle mesurée par la hauteur verticale de 31 mètres à laquelle l'eau est élevée et à celle due aux résistances qu'éprouve le mouvement de l'eau dans les tuyaux d'ascension.

Dans la pompe de Périgueux, nous avons $\Omega = 0^{\text{m}},0380$, $\omega = 0^{\text{m}},0353$, $s = 114$ mètres (*), $l = 0^{\text{m}},45$, $hw = 0^{\text{m}},70$, $\frac{b^2}{r^2} = 49$. Introduisant ces valeurs dans la valeur de h' simplifiée et mettant aussi pour g sa valeur 9,81, on obtient :

$$h' = 13^{\text{m}},61 \left(\cos \varphi + \frac{\cos 2\varphi}{7} \right),$$

formule donnant à environ 3 centimètres près la valeur de h' pour une vitesse uniforme de la manivelle d'une révolution en quatre secondes, la pompe fonctionnant sans air dans la cloche.

Cette pression h' diminue à mesure que l'angle φ augmente :

Pour $\varphi = 0$, $\cos \varphi = 1$, $\cos 2\varphi = 1$, elle est à son maximum et l'on a $h' = 15^{\text{m}},55$;

Pour $\varphi = 45$ degrés, $\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{2}}$, $\cos 2\varphi = 0$, on a $h' = 9^{\text{m}},62$;

Vers $82^{\circ},10'$ h' devient nul;

Pour $\varphi = 90^{\circ}$, on a $\cos \varphi = 0$, $\cos 2\varphi = (-1)$ et $h' = (-1^{\text{m}},94)$.

La valeur de h' continue ensuite à croître négativement jusqu'à la fin de la course du piston où pour $\varphi = 180$ degrés, $\cos \varphi = (-1)$ et $\cos 2\varphi = (+1)$, on a $h' = (-11^{\text{m}},67)$.

(*) La colonne d'ascension se compose de deux tuyaux de $0^{\text{m}},15$ de grosseur et de 114 mètres de longueur. On a voulu conserver l'ancienne colonne et on l'a doublée en en plaçant une pareille à côté. L'eau sortant de la cloche à air par un premier tuyau de 20 centimètres se divise entre ces deux tuyaux de 15.

Ainsi, dans ces conditions, il y aurait dans l'intérieur de la pompe, entre le commencement et la fin de la course d'un piston, une diminution de pression mesurée par une colonne d'eau de $15^m,55 + 11^m,67 = 27^m,22$.

On comprend quelle irrégularité de semblables variations dans la résistance, auxquelles viennent s'ajouter les différences dans la charge, variable avec la position des pistons, de l'eau qui remplit les corps de pompe, tant du côté du refoulement que de celui de l'aspiration, et l'influence de l'inertie de l'eau dans la colonne d'aspiration (*) ainsi que de l'inertie des pièces de la pompe soumises à un mouvement alternatif, doivent tendre à introduire dans le mouvement de la roue hydraulique et de la manivelle, d'autant plus qu'à chaque nouveau coup de piston cet effet s'accroît.

On s'en rendra compte en faisant attention que si, au commencement de la course d'un piston, la marche de la manivelle et celle de la roue motrice se trouvent retardées par l'excès de résistance dans la pompe, la roue ralentie reçoit une charge d'eau d'autant plus grande à ce moment, et elle regagne ensuite en vitesse, dans la seconde moitié de la course où h' de positif devient négatif, ce qu'elle avait perdu dans la première moitié, et d'autant plus que h' , comme cela résulte des formules données plus haut, croissant aussi bien négativement que positivement avec le carré de (ω) , cette augmentation de vitesse elle-même, qui tend à augmenter la valeur négative de h' et à réduire encore plus la pression dans la pompe à la fin de la course, tendrait par cela même à s'accroître aussi elle-même. Mais il en résulte

(*) Dans de grandes pompes montées pour l'alimentation d'eau de la ville de Nantes par M. Windsor de Rouen, le tuyau d'aspiration a 45 mètres de longueur, et l'on a adapté à sa partie supérieure un réservoir pneumatique pour y régulariser la vitesse de l'eau et réduire l'effet de son inertie.

(Voir, sur le même sujet, Dupuit. *Traité de la conduite et de la distribution des eaux*, page 175.)

également qu'au moment où le second piston commence sa course ascendante, qui succède immédiatement à celle du premier, l'excès de vitesse de la machine à ce moment développe immédiatement un plus grand excès de résistance que dans le coup de piston précédent, et de là un retard rendu d'autant plus prononcé par cet accroissement de résistance que la roue hydraulique s'est moins chargée d'eau pendant l'accélération de sa vitesse.

Ce retard est suivi d'une accélération également plus prononcée que la première fois, et ainsi, au bout de très-peu de temps, rien que par l'effet de ces irrégularités croissantes, et sans aucun choc, on serait exposé à voir se développer de tels excès de pression que les parois d'une pompe ne pourraient plus y résister (*).

Le moyen de remédier à cet inconvénient est de réduire le plus possible la longueur de la colonne de tuyaux dont l'eau peut réagir par son inertie sur la marche de la pompe, puisque, ainsi que le montrent les formules données plus haut, k' est proportionnel à s . C'est dans ce but que la cloche à air a été placée à un mètre seulement de distance de la pompe, ce qui, pour cette pompe fonctionnant avec la cloche pleine d'air, réduit les valeurs de k' sensiblement au 1/4^{me} de celles données plus haut.

Les valeurs extrêmes pour $\varphi = 0$ degré et $\varphi = 180$ degrés deviennent $(+0^m, 15)$ et $(-0^m, 11)$, ce qui réduit à 26 centimètres environ de colonne d'eau la différence de pression due à l'inertie de l'eau remplissant le tuyau qui conduit

(*) C'est ce qui est arrivé dans un essai de la pompe de Périgueux mise en marche, en mon absence, sans qu'il y eût d'air dans la cloche. Au bout d'une dizaine de minutes d'une marche devenant de plus en plus irrégulière, il se produisit un claquement avec un fort bruit, et il s'ouvrit une fente dans la boîte à soupapes qui, cependant, de même que les corps de pompe, avait été soumise à une pression d'épreuve effective de 6 atmosphères, double de celle que devait produire la hauteur à laquelle l'eau serait élevée.

cette eau dans la cloche à air entre le commencement et la fin de la course des pistons.

Les irrégularités dans la résistance se sont trouvées cependant encore suffisantes, par suite du peu de volée de la roue hydraulique d'une construction très-légère et tournant lentement, pour amener une irrégularité de marche assez prononcée; mais en faisant usage du volant de la machine à vapeur, rendu indépendant du reste de sa machine et mis en mouvement par la communication d'engrenages qui relient son arbre au grand engrenage de 5 mètres, on a rétabli immédiatement la régularité du mouvement de la roue hydraulique et des manivelles, et la marche de la pompe n'a plus rien laissé à désirer.

Nous pouvons donner de la manière suivante une idée de la force vive ou volée de la roue hydraulique, des engrenages et du volant, pour ensuite comparer cette force vive à celle absorbée dans la pompe par l'effet de l'inertie pendant le premier quart de révolution des manivelles, et rendue pendant le second quart, ainsi qu'à la différence de travail moteur entre le commencement et la fin de la course des pistons.

Dans la roue hydraulique le poids des couronnes en fonte, des coyaux et de l'aubage peut être évalué à 3.000 kilogrammes, et la vitesse à la circonférence est de 1^m,177 pour un diamètre extérieur de 4^m,50. Pour calculer la force vive, ce diamètre doit être réduit à 3^m,70, ce qui donne pour la vitesse :

$$1^{\text{m}},777 \times \frac{370}{4,50} = 0^{\text{m}},97,$$

et pour la force vive de la roue dans sa marche normale :

$$Mv^2 = \frac{3.000 \text{ kil.}}{9,81} \cdot (0,97)^2 = 288 \text{ de force vive.}$$

Dans le grand engrenage de 3 mètres nous avons une vi-

tesse à la couronne d'environ 0^m,75, la même que dans les deux petits engrenages d'un mètre. Le poids total entraîné est de 600 kilogrammes, et l'on a ainsi pour la force vive de ces trois engrenages :

$$\frac{600}{9,81} \cdot (0,75)^2 = 34 \text{ de force vive,}$$

soit pour la roue et les engrenages 322 de force vive.

Quant au volant qui se meut avec une vitesse de 80 tours à la minute, le poids de la couronne étant d'environ 150 kilogrammes et le diamètre, de 2 mètres, sa vitesse est de

$$\frac{80}{60} \cdot 2 \times 3,1416 = 8^{\text{m}},37,$$

et sa force vive de

$$\frac{150 \text{ kilog.}}{9,81} (8,37)^2 = 1.054 \text{ de force vive.}$$

Ajoutant cette force vive à celle que nous venons de trouver pour la roue et les engrenages, on a 1.376 pour la valeur de la force vive agissant continuellement pour régulariser la marche de la machine.

Maintenant, pour évaluer la force vive absorbée par l'inertie, nous remarquerons que la vitesse est nulle au commencement de la course des pistons, et que l'action de l'inertie change de sens vers la fin du premier quart de la révolution décrite par la manivelle, aussi bien pour le piston descendant que pour le piston montant : ainsi nous aurons sensiblement toute la force vive absorbée du côté de chaque piston en en prenant la valeur pendant ce premier quart de révolution.

Nous avons trouvé plus haut pour la vitesse du piston montant :

$$u = lw \left(\sin \varphi + \frac{1}{2} \frac{\sin 2\varphi}{\sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi}} \right).$$

Introduisant pour lw et $\frac{b}{l}$ leurs valeurs et négligeant dans le radical, comme nous l'avons déjà fait plus haut, $\sin^2 \varphi$ devant $\frac{b^2}{l^2}$, il viendra :

$$u = 0,70 \left(\sin \varphi + \frac{1}{14} \sin 2\varphi \right).$$

Ce piston ascendant entraîne avec lui l'eau qui de la pompe se rend au réservoir d'air par un tuyau d'un mètre de longueur et de 20 centimètres de grosseur, soit de 315 centimètres carrés de section. Le poids de cette eau est de 31^{kil},5, et l'on a pour sa vitesse :

$$v = \frac{\Omega}{\omega} \quad u = \frac{380}{315} \quad u = 1,2 \text{ m.}$$

Le piston entraîne en même temps un poids d'attirails de 235 kilog. ; ainsi la force vive absorbée de ce côté est :

$$\sum Mv^2 = \left(\frac{235 \text{ kil.}}{9,81} + \frac{31^k,5}{9,81} (1,2)^2 \right) (0,70)^2 \left(\sin \varphi + \frac{1}{14} \sin 2\varphi \right)^2 = 13,5 \left(\sin \varphi + \frac{1}{14} \sin 2\varphi \right)^2,$$

et pour $\varphi = 90$ degrés, cette valeur devient 13^{kil},5.

Pour le piston descendant, en posant $\varphi' = \varphi - \pi$ de manière à compter les angles à partir de la position occupée de ce côté par la manivelle au commencement de la course du piston et en prenant positives les vitesses descendantes, on a :

$$u' = 0,70 \left(\sin \varphi' - \frac{1}{14} \sin 2\varphi' \right).$$

Ce piston entraîne l'eau aspirée au travers d'un tuyau de 1^m,70 de longueur, et tant que la vitesse donnée au piston n'est pas assez grande pour que l'eau aspirée ne puisse plus le suivre et s'en détache en restant en arrière et laissant un vide entre deux, l'effet reste le même que si le piston, au lieu d'entraîner l'eau par aspiration derrière lui, la refoulait devant lui; ainsi nous aurons pour la force vive absorbée de ce côté en tenant compte du poids des attirails mis en mouvement, le même que du côté du piston ascendant :

$$\sum M^*v = \left(\frac{225 \text{ kil.}}{9,81} + \frac{1,70 \times 31^k,5}{9,81} (1,2)^2 \right) (0^m,70)^2 \left(\sin \varphi' - \frac{1}{14} \sin 2\varphi' \right)^2 = 15,1 \left(\sin \varphi' - \frac{1}{14} \sin 2\varphi' \right)^2,$$

et pour $\varphi' = 90$ degrés on aura 15¹¹,1 pour la valeur de la force vive absorbée dans le mouvement de ce piston descendant.

Pour évaluer la variation de travail moteur résultant de la différence de charge de l'eau sur les pistons en raison de leur position au commencement et à la fin de leur course, variation qui doit aussi se trouver neutralisée par l'action du volant, nous considérerons le piston ascendant comme soulevant de 45 centimètres pendant le premier quart de révolution de la manivelle, soit très-approximativement pendant la moitié de la course de ce piston, le volume moyen de l'eau qu'il refoule alors devant lui.

Ce volume d'eau étant de $\left(\frac{34 + 17}{2} \right)$ litres = 25¹,5 donne lieu, en s'élevant de 45 centimètres, à un travail de 25^{kil},5 \times 0^m,45 = 11^{kilom},475.

Dans la seconde moitié de la course le piston ne soulève plus en moyenne dans le corps de pompe que $\frac{17 \text{ litres}}{2} = 8^l,5$, et le travail est réduit à 8^{kil},5 \times 0^m,45 = 3^{kilom},825.

Ainsi on a pour le travail pendant toute la course du piston: $11^{\text{k.s.m.}},475 + 3^{\text{k.s.m.}},825 = 15^{\text{k.s.m.}},3$, et pour la moyenne du travail pendant la moitié de la course: $7^{\text{k.s.m.}},65$, soit $3^{\text{k.s.m.}},825$ de moins que le travail effectué par le piston pendant la première moitié de sa course, mais, au contraire, $3^{\text{k.s.m.}},825$ de plus que le travail effectué pendant la seconde moitié de la course.

La force vive équivalente à cet excès de travail en est, comme on le sait, le double, soit $7^{\text{''}},65$, et comme du côté du piston descendant la différence de travail est la même dans l'aspiration, pour avoir l'effet correspondant aux deux pistons, nous doublerons cette force vive, ce qui donnera $15^{\text{''}},3$.

Nous tiendrons aussi compte de l'effet de l'inertie de cette eau qui serait produit par les 34 litres remplissant constamment l'ensemble des deux corps de pompe. On peut prendre pour vitesse $0^{\text{m}},70 \sin \varphi$, moyenne des vitesses des deux pistons, et l'on aura pour la force vive absorbée :

$$\frac{34 \text{ kil.}}{9,81} (0,70)^2 \sin^2 \varphi = 17 \sin^2 \varphi,$$

dont la valeur pour $\varphi = 90$ degrés devient 17 de force vive.

Faisant ensuite la somme des différentes forces vives que nous venons d'évaluer, nous aurons $13,5 + 15,1 + 15,3 + 17 = 60^{\text{''}},9$ pour expression de l'ensemble des forces vives à régulariser dans le mouvement de la pompe. — C'est le chiffre qu'il faut comparer à la force vive régulatrice 1.376 trouvée plus haut, et l'on comprendra qu'il est trop faible pour que les variations dans la vitesse de la machine soient sensibles.

Enfin nous aurions encore à examiner une autre cause de résistance variable dans la marche de cette pompe, due à ce que le mouvement de manivelle n'introduisant pas l'eau uniformément dans la cloche à air, il en résulte des varia-

tions dans la force élastique résistante de l'air de la cloche. L'introduction de l'eau serait uniforme si l'avancement du piston, proportionnel à l'angle φ , avait pour valeur $2l \frac{\varphi^\circ}{180^\circ}$, tandis que le piston étant entraîné par la manivelle et la bielle, cet avancement, comme nous l'avons vu, a pour expression :

$$l \left(1 - \cos \varphi - \sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi} \right) + b.$$

On aura donc pour mesure des irrégularités de la marche du piston :

$$l \left(1 - \cos \varphi - \sqrt{\frac{b^2}{l^2} - \sin^2 \varphi} \right) + b - 2l \frac{\varphi^\circ}{180^\circ},$$

et le tableau suivant donne la valeur de ces irrégularités pour les différentes positions de la manivelle.

VALEURS de φ	IRRÉGULARITÉ de la marche du piston par rapport à une marche uniforme.	VALEURS de φ	IRRÉGULARITÉ de la marche du piston par rapport à une marche uniforme.
Degrés.	Centimètres.	Degrés.	Centimètres.
	Retard.		Avance.
0	0	90	+ 2
10	— 4	100	+ 5
20	— 6	110	+ 7
30	— 7	120	+ 10
40	— 8	130	+ 11
50	— 7	140	+ 10
60	— 6	150	+ 10
70	— 2	160	+ 8
80	■	170	+ 5
		180	0

Ce tableau montre que l'introduction de l'eau, restée e

retard pendant le premier quart de la révolution de la manivelle, prend au contraire l'avance pendant le second quart ; ainsi elle tend à diminuer la pression résistante de l'air au moment où des excès de résistance agissent pour retarder la vitesse de la pompe, tandis qu'elle tend à accroître cette pression lorsque au contraire les autres causes de résistance diminuent. L'effet, au lieu d'agir pour accroître les irrégularités de marche, tend donc à les diminuer. Ajoutons que, d'ailleurs, la section des pistons plongeurs n'étant que de 380 centimètres carrés, des irrégularités de marche au maximum de 11 centimètres ne correspondent en volume d'eau qu'à 4^m,18, et que l'introduction irrégulière d'un aussi petit volume dans la cloche, lorsque celle-ci contient 300 lit., d'air n'y aurait qu'un effet minime.

Après cet examen des causes d'irrégularité que le mouvement de manivelle tend à introduire dans la marche d'une pompe mue par une roue hydraulique, nous rappellerons que l'effet en était tellement fort dans l'ancienne machine hydraulique de Marly que M. de Prony dans une description qu'il en a donnée, a pu dire :

« Lorsqu'on examine la machine en action, l'inégalité de sa marche est la première chose qui frappe les yeux ; les roues à aubes sont dans une partie de leur révolution presque immobiles. C'est le moment de la production de l'effet utile ; elles acquièrent ensuite une grande vitesse parce que l'effort devient petit ou nul, et ainsi de suite. » (Dupuit. *Traité de la distribution des eaux*, p. 182.)

Dans la nouvelle machine de Marly, l'arbre de chaque roue hydraulique porte une manivelle à chacune de ses extrémités, et ces deux manivelles, dont l'une est en avance sur l'autre d'un quart de révolution, font marcher quatre pompes horizontales à piston plongeur accouplées deux à deux : ainsi la fin de la course correspond pour deux de ces pompes au milieu de la course des deux autres, et l'accroissement de résistance, se présentant d'un côté au mo-

ment où une diminution se présente de l'autre, tend à contre-balancer celle-ci et à rétablir l'égalité de résistance. L'effet des irrégularités reste cependant encore sensible, et dans chaque tour de roue hydraulique on peut remarquer quatre retards alternant avec quatre accélérations; après avoir vu une des roues prendre l'avance sur sa voisine, on voit celle-ci reprendre à son tour l'avance pour un moment.

En terminant nous ferons encore remarquer que des pompes de la grandeur de celles de Périgueux, si elles étaient menées avec la vitesse de 1^m,60 à la seconde que nous voyons donnée aux pistons des pompes de la ville de Caen (vitesse qui, d'ailleurs, comparée à celle qu'on donne aux pistons des machines à vapeur n'a rien d'exagéré), suffiraient déjà pour élever 5.000 mètres cubes d'eau par jour (*). S'il s'agissait d'atteindre avec ce genre de pompes un très-grand débit (**), on aurait à choisir entre l'emploi combiné de plusieurs couples de pompes et celui de pistons d'un plus gros diamètre.

(*) La limite de la vitesse, qui ne doit pas être dépassée dans la marche des pistons, reste d'ailleurs celle que l'eau ne pourrait dépasser dans l'aspiration.

La formule pratique

$$T = 2 \sqrt{\frac{s \cdot \Omega \cdot l}{g \cdot \omega \cdot \zeta}},$$

donnée par M. Dupuit (*Traité de la distribution des eaux*, p. 175), peut servir à trouver le temps nécessaire pour que le corps de pompe se remplisse. ζ est la hauteur d'eau mesurant la pression sur le piston aspirateur dans sa position moyenne et les autres lettres conservent la même signification que précédemment.

Appliquant cette formule à la pompe de Périgueux, on a :

$$T = 2 \sqrt{\frac{1,70 \times 380 \times 0,45}{9,81 \times 315 \times 10,60}} = 0'',2.$$

(**) Pour un grand débit, on pourrait adopter des soupapes en forme de grille, disposées, tout en évitant les étranglements de veine fluide, de manière à obtenir environ 6 centimètres de contour d'écoulement par litre de débit à la seconde.

On remarquera aussi, en comparant l'emploi de pompes accouplées menées par des machines à vapeur ordinaires à double effet avec celui très en faveur d'une pompe simple attachée au balancier d'une machine à vapeur à simple effet, que si dans le premier cas on ne doit pas tout à fait compter sur la même économie de combustible que dans le second (*), comme compensation on a l'avantage de pouvoir considérablement diminuer les dépenses d'installation en réduisant les dimensions :

1° Des cylindres, balanciers et bielles des machines à vapeur qui, au lieu de ne fournir leur travail que pendant la moitié du temps, le fournissent d'une manière continue ;

2° Des pompes à la marche desquelles on peut donner beaucoup plus de vitesse ;

3° Des réservoirs d'air qui, au lieu de recevoir l'eau d'une manière intermittente, la reçoivent d'une manière continue ; sans compter qu'on n'est plus exposé aux inconvénients de l'emploi d'énormes poids qui dans un mouvement de va-et-vient qui n'est pas limité et réglé par une manivelle, peuvent faire continuellement redouter de très-graves accidents.

(*) Nous citerons ici les machines de Bousbecque qui alimentent d'eau les villes de Roubaix et de Turcoing. Ce sont deux machines à vapeur, à double effet, à balancier, avec volant, chacune de 80 chevaux, de la construction de MM. Windsor et compagnie, de Rouen. Les tiges des pompes sont placées à moitié de la longueur du balancier de chaque côté de son axe. Le volant fait seize tours à la minute. Chaque machine élève 90 litres à la seconde en fournissant un travail de 72 chevaux, mesuré par l'eau élevée, avec une consommation en marche ordinaire de 1^k,29 de charbon par heure et par force de cheval. Les soupapes sont doubles, à clapet, en bronze. Chacune d'elles a 23 sur 53 centimètres, soit 99 centimètres de contour d'écoulement et 1^m,98 pour les deux, ce qui ne donne que 22 millimètres de contour par litre de débit.

Ce rapport est trop faible pour qu'il n'y ait pas de choc dans la fermeture des soupapes ; aussi, *pour rendre faible le bruit causé par les clapets, introduit-on de l'air dans le tuyau d'aspiration, ce qui ne peut se faire qu'aux dépens de la quantité d'eau élevée.*

FABRICATION DE L'ACIER

PAR LE PROCÉDÉ BESSEMER

A L'USINE DE GRATZ (STYRIE).

Par M. CASTEL, ingénieur des mines.

La fabrication de l'acier par le procédé Bessemer est installée à l'usine de Gratz appartenant à la Société des chemins de fer du sud de l'Autriche, dans un atelier particulier établi sur le prolongement de la forge à rails.

La méthode adoptée est la méthode anglaise, c'est-à-dire la conversion de la fonte en acier dans des cornues, tournant sur un axe qui correspond à peu près à leur centre de figure, au moyen de vent soufflé arrivant par la partie inférieure de la cornue.

L'atelier est vaste et commodément installé. Il a une largeur de 30 mètres et une longueur de 50 mètres.

Le bâtiment est formé de murs en briques de peu d'épaisseur (une longueur de briques) et recouvert par une toiture aussi légère que possible. — Cette toiture est triple dans le sens de la largeur du bâtiment, les fermes sont soutenues dans l'intérieur par des piliers en fonte.

Dans le premier tiers de sa longueur, l'atelier comprend :

1° Deux cornues placées symétriquement de chaque côté de l'axe du bâtiment.

2° Une fosse circulaire de 8 mètres environ de diamètre et 1^m,40 à 1^m,50 de profondeur. Au milieu de cette fosse est installée une grue hydraulique portant aux deux bouts d'un grand levier horizontal, d'un côté la poche destinée à recevoir le métal produit, de l'autre un contre-poids.

3° Devant le four circulaire et à 4 ou 5 mètres de distance dans l'axe du bâtiment, une grue verticale destinée à la manœuvre des moules.

4° Deux petites machines à vapeur de 3 à 4 chevaux de force situées une latéralement à chaque cornue, et leur communiquant le mouvement de rotation au moyen d'une vis sans fin et d'engrenages.

5° Une machine à vapeur de 20 chevaux, située dans un coin de l'atelier, destinée à mettre en mouvement deux petites pompes foulantes et une pompe aspirante et foulante.

La pompe aspirante extrait l'eau d'un puits souterrain et la refoule dans un réservoir en tôle situé à 4 ou 5 mètres au-dessus du sol. De ce réservoir, qui sert en même temps pour l'alimentation de la chaudière à vapeur, l'eau descend par son propre poids vers les deux pompes foulantes mentionnées ci-dessus.

Ces deux petites pompes sont mues directement par le piston du cylindre à vapeur, au moyen de deux tiges fixées à ce piston et qui traversent le couvercle du cylindre. Par deux tuyaux munis chacun d'un réservoir d'air, elles refoulent l'eau dans un réservoir vertical en tôle d'un mètre de diamètre et 3 mètres de hauteur, dont la partie supérieure fait fonction de réservoir d'air comprimé.

Ces deux pompes marchent presque constamment. La pression peut atteindre dans le réservoir jusqu'à 15 atmosphères. Pendant la marche des appareils, elle descend à 14 ou 15 atmosphères et même au-dessous, selon le travail fait. — Des tuyaux souterrains font communiquer le réservoir de pression avec la grue hydraulique mentionnée ci-dessus, et avec un élévateur hydraulique portant les charges de fonte à la hauteur des fours.

6° Une machine soufflante composée de deux cylindres à vapeur et de deux cylindres à air à traction directe, assemblés sur le même palier. — Le mouvement est régularisé par un volant.

A L'USINE DE GRATZ.

Les cylindres à vapeur ont 1^m,443 de longueur i et 0^m,54 de diamètre de piston.

La longueur intérieure des cylindres à vent est c et leur diamètre de 0^m,79.

La course du piston est de 1^m,265. — L'admissio et la sortie de l'air comprimé ont lieu au moyen de mouvement est doux et régulier.

Le volume d'air aspiré par coup de piston dan cylindre est de 0^m³,59; par les deux cylindres à ch de volant 2^m³,36.

7° Une chaudière de locomotive placée à côté chînes soufflantes.

8° Un réservoir vertical d'air comprimé en tôle de diamètre et de 4 mètres de hauteur, placés prè lindres soufflants et à leur extrémité.

9° Une boîte rectangulaire en tôle renfermant des soupapes qui commandent, d'une part la con tion du réservoir de pression hydraulique avec la draulique, d'autre part celle du réservoir d'air c avec les cornues. — Deux leviers saillants hors d permettent de régler à volonté l'affluence de l'ea de l'air.

10° Dans le voisinage de la grue verticale et a de la fosse circulaire se trouvent le dépôt de ling acier et la place pour les manipulations accessoire la fabrication du mortier réfractaire pour les poche paration des tiges avec boudin d'argile réfractair au bouchage du trou de coulée, etc., etc.

Les lingotières sont des cylindres en fonte à sect rée, hexagonale ou octogonale; dans le premier c gles sont adoucis par des troncatures. La fonte a 5 tres d'épaisseur; malgré cette force de métal les doivent, pour éviter les ruptures, être renforcés sieurs anneaux de fer forgé.

La hauteur des lingotières est d'un mètre et leur contenance de 300 kilogrammes d'acier.

Les poches en tôle sont garnies intérieurement d'un mortier de terre réfractaire.

Leur trou de coulée est à la partie inférieure, mais rapprochée de la paroi.

Ce trou est fermé au moyen d'une tige en fer garnie de terre réfractaire et dont la partie supérieure, recourbée de façon à passer par-dessus le bord de la poche, est ajustée à un levier qu'on fixe à la poche au moment de la manœuvre.

Dans la seconde partie de l'atelier, et immédiatement derrière les cornues, s'élève un massif de maçonnerie de 12 mètres de longueur sur 8 de largeur et 2 de hauteur. — Il porte deux fours à réverbère pour la fusion de la fonte placés symétriquement et munis chacun d'une cheminée en briques, contre laquelle est appuyée la cheminée de la cornue correspondante.

Une hotte fixée à la cheminée recouvre l'emplacement de chaque cornue.

Les trous de coulée des fours à réverbère sont disposés vers l'intérieur de la plate-forme, et conduisent la fonte dans une rigole commune en tôle garnie de terre réfractaire, laquelle arrivée au-dessous de la fosse se partage en deux conduits correspondant à chaque cornue. — La fonte peut ainsi couler directement du four dans la cornue, quand celle-ci a été amenée dans la position convenable.

Derrière le massif et à un des angles se trouve un élévateur hydraulique destiné à porter au niveau de la plate-forme la fonte et le charbon.

Enfin, dans la dernière partie de l'atelier, est le magasin à charbons.

Cornues. — Les cornues employées à Gratz ne diffèrent pas des convertisseurs Bessemer généralement employés, par leur forme et leur disposition. Je ne mentionnerai donc

ici que leurs dimensions principales et ce qui peut présenter un intérêt spécial.

Leur enveloppe extérieure est en forte tôle et le pisé réfractaire qui en garnit les parois internes a 21 centimètres d'épaisseur partout, excepté au bec de la cornue, où elle se réduit à 16 centimètres (Pl. II, fig. 6).

Le diamètre extérieur de la panse dans la partie cylindrique est de 1^m,75; la hauteur totale, depuis le bord du bec jusqu'à la boîte à air exclusivement, est de 3^m,68.

Le diamètre intérieur en dedans de l'enveloppe réfractaire est, dans la partie cylindrique, de 1^m,45; à la base du segment sphérique inférieur, 0^m,55; à la base du col, 0^m,82; enfin, au bec, 0^m,22. Il est bien entendu que ces dimensions sont celles de la cornue neuve.

Les hauteurs intérieures sont :

	mètres.	Volumes correspondant. mètres cubés.
Pour le segment inférieur.	0,92	1,020
La partie cylindrique.	1,00	1,655
Le segment supérieur.	0,73	0,943
Le col.	0,87	0,156
Totaux	3,52	3,773

La ligne médiane du col de la cornue est inclinée de 45 degrés sur l'axe de la panse.

La charge de fonte grise, admise à Gratz au moins jusqu'à présent, est de 2^t,75; le volume qu'elle occupe à l'état liquide est de 0^m,382, c'est-à-dire un peu plus du dixième du volume total. La hauteur correspondante au-dessus des tuyères est à très-peu près 50 centimètres correspondant à une pression statique de 0,4 d'atmosphère.

Les tuyères sont formées de 7 briques légèrement coniques longues de 43 centimètres, et percées chacune de 7 trous dont le diamètre est du côté de la boîte à air de 15 millimètres, du côté de la cornue de 8 1/3 millimètres.

La section totale d'orifice du vent est donc de 34 centimètres carrés.

Conduite de l'opération. — Après avoir décrit l'installation des principaux appareils employés, je passe à l'exposé de la conduite des opérations telle que j'ai pu l'observer sur trois charges consécutives.

Cette conduite ne varie pas dans ses parties essentielles d'une opération à l'autre ; il n'y a de différences que dans la durée des diverses périodes, selon la nature intime de la fonte employée.

Fusion de la fonte. — Ainsi que je l'ai indiqué plus haut, la charge de fonte grise est de 2^t,75. Cette quantité est chargée dans un des deux fours à réverbère ; dans l'autre, on charge quelque temps après 275 kilog. de fonte lamelleuse (Spiegeleisen).

Comme on le sait, une des conditions indispensables à la bonne réussite de l'opération est une fusion complète et bien liquide, sous l'action de gaz aussi peu oxydants que possible.

Chauffage de la cornue et des poches. — Environ une heure avant le commencement de l'opération, on commence à chauffer la cornue.

A cet effet, on jette dans la cornue un peu de charbon de bois allumé et par-dessus environ 25 paniers de coke.

En même temps on donne le vent faiblement. La masse devient bientôt incandescente ; l'intérieur de la cornue doit être, au moment de l'opération, arrivé à la température du rouge blanc.

En même temps, la poche de coulée qui a été regarnie de mortier réfractaire, est mise à sécher au-dessus d'un petit foyer installé dans la fosse, et où l'on brûle du bois et du charbon de bois. La terre étant sèche, le foyer est fortement chargé de charbon de bois ; on replace la poche renversée par-dessus et l'on donne du vent à l'aide d'une tuyère placée sous le foyer. L'intérieur de la poche doit être portée éga-

lement avant la fin de l'opération à une bonne température rouge.

Versement de la fonte. — Lorsque le fondeur a reconnu que la fonte est bien liquide et bonne à couler, le vent est arrêté; on renverse la cornue de façon à faire tomber dans la fosse le reste du coke non brûlé; on la nettoie complètement des morceaux qui pourraient être restés adhérents, à l'aide d'un ringard et en la maintenant dans une position fortement inclinée, puis on la place de façon que son axe étant horizontal, le bec corresponde à l'extrémité de la rigole d'amenée de la fonte.

A ce moment le trou de coulée est percé au four à réverbère et la fonte arrive rapidement dans la cornue.

La coulée étant finie, on donne le vent et l'on relève la cornue dans la position verticale, le bec dirigé vers la cheminée et placé sous la hotte. L'opération commence.

Opération. Première période. — Un flot d'étincelles sort par la bouche de la cornue; une légère flamme jaune, rougeâtre, apparaît bientôt, mais les étincelles sont très prédominantes.

La pression du vent dans le réservoir d'air est d'abord de 1^{atm},2 mais monte rapidement à 1,3 et 1,4 atmosphère, hauteur qu'elle conserve pendant toute la durée de l'opération.

La machine soufflante fait 17 tours de volant par minute. La durée de cette période varie suivant les charges de 3 1/2 à 6 minutes.

Deuxième période. — La flamme augmente sensiblement de longueur en devenant bleuâtre sur les bords à la bouche de la cornue, puis s'allonge beaucoup. Les étincelles, encore abondantes au commencement de la période, vont en diminuant et finissent par disparaître. Un dard obscur se forme au milieu de la flamme; à la fin de la période la flamme est vive et longue et le dard est bien marqué.

Le volant fait pendant cette période 19 tours par minute.

La durée de la période varie de 2 à 4 1/2 minutes.

Troisième période. — La flamme est accompagnée de fumée; il n'y a plus d'étincelles et le dard est très-long. La flamme devient ensuite très-vive, blanche et jaunâtre au bord près de la bouche de la cornue. De nombreuses projections de matières visqueuses composées de scorie et de métal ont lieu.

Il se fait pendant ce temps dans la cornue un bouillonnement tumultueux.

Le volant fait 37 tours par minute.

La durée de la période varie de 2 à 6 minutes.

Quatrième période. — La flamme s'accélère; il y a encore quelques projections. La flamme devient très-longue, très-blanche, bleuâtre sur les bords à l'ouverture de la cornue, puis complètement blanche. A ce moment l'opération est terminée et l'on renverse la cornue. La flamme a alors 3 ou 4 mètres de longueur.

Le volant fait 44 tours par minute. La durée de cette dernière période varie de 2 à 3 minutes.

Addition de Spiegeleisen. — Au moment du renversement de la cornue, on opère le trou de coulée au four à réverbère pour le Spiegeleisen, et celui-ci arrive fondu dans la cornue.

La cornue n'est plus relevée; on continue le mouvement de renversement, et le mélange est ainsi versé dans la poche de coulée qu'on a préalablement amenée en dessous du bec de la cornue. En résumé, l'opération telle qu'elle se fait à Gratz ne diffère pas notablement de celle pratiquée dans l'usine de Bessemer, et décrite dans le mémoire de M. de Cizancourt (*Annales des mines*, 1863).

La seule différence essentielle consiste en ce que l'opération n'est pas poussée jusqu'à la chute de la flamme. Il y a donc, au moment où l'on termine le travail, encore du carbone dans la fonte et la production du fer brûlé est, sinon nulle, du moins plus faible que dans le procédé suivi

A L'USINE DE GRATZ.

à Sheffield. Il faut remarquer encore que leuse n'est pas brassée avec le produit de le mélange paraît être néanmoins suffisant final a, comme nous le verrons plus loin quises.

Je dois faire observer encore que la périodes de l'opération est souvent assez que les durées indiquées pour chaque pas être d'une justesse parfaite (*). Le travail, depuis l'introduction du vent jument pour l'addition de Spiegeleisen, vanutes. En outre le versement de la fonte nute et l'addition de Spiegeleisen égale jusqu'à la coulée dans la poche.

La quantité de vent lancée dans la cpression atmosphérique, autrement dit la pirée, calculée par tonne de fonte grise et par minute, donne les résultats suivants

Première période.
Deuxième période.
Troisième période.
Quatrième période.
Ensemble : pour toute la durée d'charges observées.

Théoriquement, cette quantité de vent 17 minutes, suffit pour la combustion co

(*) On ne peut réellement distinguer que d trois périodes :

- 1° Période du *mazéage* ou de la *scorification*
 - 2° Période du *bouillonement* ou de la *décarb*
 - 3° Cessation de l'ébullition ou de la *décarb*
- sième période, fort courte, n'est en réalité quconde.

(Voyez *État de la métallurgie du fer en Ang*

de la fonte employée, pour la transformation du carbone en oxyde de carbone, et de plus, pour la transformation en protoxyde du manganèse et du sixième environ de la fonte employée. Il est vrai que dans la première période surtout une partie de l'air lancé passe sans que l'oxygène soit complètement absorbé.

Coulée dans les lingotières. — Pendant l'opération, les moules ont été disposés dans la fosse, près du bord, vis-à-vis de la grue verticale. Ils sont simplement posés sur de grosses plaques en fer forgé.

Le métal ayant été coulé de la cornue dans la poche, celle-ci est élevée à un niveau convenable par la grue hydraulique qui la porte, et amenée rapidement au-dessus de la première lingotière.

Son trou de coulée correspondant aussi exactement que possible à l'axe de celle-ci, on soulève le levier qui ouvre le trou de coulée, et le métal s'échappe en un fort jet qui remplit le moule jusqu'à 15 ou 20 centimètres du bord supérieur. Le métal versé bouillonne assez fortement dans le moule et laisse échapper de nombreuses bulles de gaz. Dès que la poche est éloignée, et pendant qu'on remplit la seconde lingotière, un ouvrier applique sur la surface du métal dans la première une plaque de tôle mince un peu moins large que la section. Par-dessus, on jette quelques poignées de sable argileux, de façon à remplir le vide jusqu'au haut du moule; ce sable est recouvert d'une deuxième plaque de tôle qui couvre entièrement l'orifice et en dépasse notablement les bords.

Cette plaque est maintenue pressée contre le sable, à l'aide d'une barre de fer passée dans deux anneaux fixés à la partie supérieure de la lingotière et d'un coin chassé avec force entre la barre et la plaque.

On opère ainsi successivement sur toutes les lingotières, excepté sur la dernière qui généralement est à moitié vide, et où l'opération du bouchage ne peut avoir lieu.

Retirage des lingots. — Au bout d'une demi-heure, le métal versé est suffisamment refroidi pour qu'on puisse procéder au tirage des lingots.

A cet effet, on amène au-dessus de chaque lingotière successivement la chaîne de la grue, on passe le crochet sous la barre de fermeture, après avoir préalablement enlevé le coin, et l'on soulève la lingotière avec son contenu jusqu'à 50 ou 40 centimètres de hauteur au-dessus du sol de la fosse. Si le lingot ne se détache pas de lui-même du moule en fonte, on opère la séparation en frappant le moule à coups de marteau.

Le lingot détaché tombe debout sur la plaque en fer qui servait de support au moule, et celui-ci est enlevé. Les lingots sont ensuite eux-mêmes soulevés à leur tour par la grue et portés au dépôt.

Travaux accessoires. — Il ne me reste plus à parler, comme ayant directement trait à l'opération, que de quelques travaux accessoires qui ont lieu dans l'intervalle de deux opérations.

Après la coulée dans la poche, la cornue est nettoyée aussi bien que possible à l'aide d'un ringard des scories qui en recouvrent les parois. Le bord de l'ouverture est regarni, s'il est besoin, de terre réfractaire. La boîte à air est démontée, les tuyères visitées avec soin et, s'il est nécessaire, débouchées ou remplacées par de nouvelles.

Après la coulée dans les moules, la poche est renversée, complètement vidée; l'enveloppe réfractaire intérieure, qui se trou
 demme
 coups c
 mortier

*Mat
 crire e*

quelles la fonte grise de Mariazell paraît réunir les conditions les plus favorables pour la qualité et le prix.

La fonte de Turrach est regardée par M. Hall, directeur de l'usine, comme d'une qualité inférieure. Comme fonte lamelleuse, on a jusqu'à présent celle de Friedau; mais M. Hall se propose de faire quelques essais comparatifs avec la fonte de Siegen.

Des analyses faites, tant à Vienne à l'Institut géologique qu'au laboratoire d'Oravieza sur des échantillons pris à Gratz, ont donné les résultats suivants :

	FONTE de Mariazell	FONTE de Turrach.	SPICHEL-SEGEN de Friedau.
Fer.	93,69	93,97	95,53
Carbone combiné.	0,21	0,15	3,62
Graphite.	3,52	3,11	0,17
Silicium.	2,27	1,23	0,21
Manganèse.	0,26	traces.	0,29
Soufre.	0,14	0,10	0,09
Phosphore.	0,01	0,03	0,01
Cuivre	0,10	0,07	0,11
Totaux.	100,11	98,74	100,06

Un autre échantillon de fonte de Mariazell renferme avec 3,52 p. 100 de silicium, 2,38 de manganèse.

La fonte de Mariazell coûte actuellement 160 florins la tonne.

La fonte miroitante de Friedau se vend à peu près au même prix. Celle de Siegen reviendra à 250 fr. la tonne.

Produits. — Le métal obtenu est de l'acier à grains moyens, des n° 3 et 4; il est employé à la fabrication de rails à tête d'acier. Les lingots sont d'abord réchauffés dans un four à réverbère identique aux fours pour paquets de

rails, puis passés au laminoir et réduits en plaques de 304 millimètres de largeur et de 4 centimètres d'épaisseur.

Ces plaques, coupées de longueur, servent ensuite à former la tête du paquet de rails.

Elles y sont immédiatement associées à des plaques provenant du laminage de vieux rails. La soudure, sans autre préparation, est assez parfaite pour qu'un fragment de rails de 20 centimètres de longueur, placé droit sous le pilon, se plie sans que la tête montre la moindre tendance au des-soudage, tandis que le pied et le corps se déchirent. Une certaine quantité de ces rails a été déjà fabriquée et placée dans la gare de Gratz; mais cela a eu lieu tout récemment, de sorte que l'expérience n'a encore rien indiqué sur la valeur de ces rails.

La compagnie du sud de l'Autriche y a assez de confiance pour projeter de garnir de ces rails, qui, du reste, ne lui coûtent pas beaucoup plus cher que ceux en fer, sa nouvelle ligne du Brenner.

J'ai fait analyser à Vienne et à Orawicza un échantillon d'acier de Gratz cassé d'une plaque quelconque; l'analyse a donné les résultats suivants :

Fer.	98,57	
Carbone combiné.	2,38	} 1,03
Graphite.	0,65	
Silicium.	0,05	
Manganèse.	0,07	
Soufre.	0,05	
Phosphore.	traces.	
Cuivre.	0,08	
	<hr/> 99,85	

Un échantillon de cet acier forgé et refroidi sans trempe a rompu sous une charge de 7.450 kilog. par centimètre quarré, après un allongement de 3 p. 100 de la longueur primitive.

Un autre échantillon forgé et trempé a rompu sous une

charge de 7.220 kilog. par centimètre carré après un allongement de 1 p. 100.

Enfin un troisième échantillon, maintenu quelque temps à la chaleur rouge et refroidi lentement, a rompu sous la charge de 6.700 kilog. par centimètre carré, après un allongement de 12 1/2 p. 100.

Ces essais prouvent que le métal produit possède réellement des qualités bien acérieuses, bien qu'il se rapproche évidemment des aciers doux.

Résultats économiques du procédé. — La fabrication de l'acier a commencé à Gratz vers la fin de 1864.

A la date du 17 mars 1865, on avait déjà fait 170 charges, sur lesquelles 11 seulement avaient manqué, surtout dans le premier temps de la fabrication. Encore M. Hall assure-t-il avoir produit dans ces 11 charges, non pas un métal brûlé, mais un métal ne répondant pas au but qu'il se propose, c'est-à-dire probablement un fer fondu au lieu d'acier.

On fait d'ailleurs généralement 3 charges par jour.

La quantité de fonte employée dans ces 170 charges a été :

Fonte grise.	392 ¹ ,65 = 89,45 p. 100
Fonte lamelleuse. . . .	46 ¹ ,25 = 10,54 p. 100
Total.	438 ¹ ,90

La quantité de métal produit a été de 378¹,586 ou 86,2 p. 100 de la fonte employée, en y comprenant 5 à 6 p. 100 de déchets ou queues de coulée; la perte est donc de 13,8 p. 100.

Le combustible employé pour la fusion au four à réverbère est formé d'un mélange de lignite de Leoben, qui coûte 25 francs la tonne rendu à l'usine, et de lignite de Köflach qui coûte 15 francs la tonne.

Ces combustibles, surtout le dernier, sont de qualité inférieure.

Le pouvoir calorifique du premier est de 5.000 et celui du second de 3 à 4.000 calories. En outre, la fusion de la

fonte lamelleuse en petite quantité, dans un grand four à réverbère séparé, doit évidemment consommer une quantité de combustible hors de proportion avec le résultat obtenu; aussi a-t-on commencé la construction d'un petit four spécial pour cet objet.

Dans les conditions actuelles, on emploie 182,7 de combustible p. 100 de fonte.

On emploie en outre, en moyenne, par charge 275 kilog. de coke et 35 kilog. de charbon de bois pour le réchauffage des cornues et des poches de coulée.

Vingt ouvriers sont employés dans l'atelier; leur salaire coûte 60 francs par jour.

Il y a, en outre, des travaux accessoires non compris dans ce chiffre, et qui le doublent à peu près.

Les réparations ont été jusqu'à présent peu importantes, ce qui est naturel, vu la courte durée de la fabrication. Le revêtement intérieur de la cornue n'a pas encore eu besoin de renouvellement.

Les tuyères en briques réfractaires doivent être changées au bout de 7 à 8 charges. Il y a d'ailleurs un petit entretien courant des outils, poche de coulées, lingotières, etc.

L'établissement de l'atelier Bessemer a coûté à la compagnie du Sud 55.847^{francs},50 (139.620 francs) qui se répartissent comme suit :

	fr.		
Soufflerie. Chaudière à vapeur.	8.256	}	fr. 36.744
C'était une chaudière de locomotive ayant déjà servi. Une semblable neuve eût coûté 25.000 francs.			
Machine à vapeur et cylindres soufflants, achat et transport.	19.712		
Fondations et pose.	4.682		
Conduite de vent.	1.947		
Conduite de vapeur.	2.147		
A reporter.		36.744	

	<i>Report.</i>	<i>n.</i>
	36.744	
Fours de fusion. Massif.	3.245	27.312
Deux fours avec leurs cheminées.	15.923	
Petit four neuf et charpente qui le supporte. . .	8.144	
Convertisseurs. Cornues avec leurs supports. . .	18.387	33.756
Cheminées correspondantes.	2.217	
Deux machines à vapeur et appareils pour le renversement des cornues.	1.833	
Grue hydraulique.	6.518	
Grue verticale.	3.746	15.215
Fosse et fondations des supports des cornues. .	1.055	
Pompes hydrauliques. Machine à vapeur avec deux pompes foulantes, une pompe aspirante, un réservoir, un réservoir de pression, puits, etc.	9.267	
Conduites d'eau et canalisation.	3.100	
Élévateur hydraulique.	2.846	16.194
Bâtiments et toiture.		
Grue roulante.		3.801
Divers, lingotières et poche de coulée.	3.000	6.500
Outils.	3.500	
Total.		139.620

RAPPORT

SUR LA COMPOSITION DES GAZ DÉGAGÉS PAR LA SOURCE THERMALE
DE BOURBON-L'ARCHAMBAULT

27

SUR CELLE DE L'ATMOSPHERE ARTIFICIELLE OBTENUE DANS LA SALLE
D'ASPIRATION PROVISOIRE CONSTRUITE SUR LE RÉSERVOIR
DE CETTE SOURCE.

Par M. DE GOUVENAIN, ingénieur des mines.

Exposé. — Une dépêche adressée à M. le préfet de l'Al-
lier par S. E. M. le ministre des travaux publics, en date
du 7 décembre 1860, a posé, sur l'aménagement actuel
ou possible de la source thermale de Bourbon-l'Archam-
bault, six questions qui ont été résolues dans un rapport
en date du 12 avril 1861. Elle prescrivait en outre l'éta-
blissement, sur le réservoir de la source, d'une salle
d'aspiration provisoire ayant les dimensions de celle qui
fait partie du projet de reconstruction de l'établissement
thermal, et des recherches, tant sur la composition des gaz
dégagés par la source que sur celle de l'atmosphère artifi-
cielle obtenue dans la salle. Ce sont les expériences faites
dans le but de satisfaire à cette dernière partie des instruc-
tions qui font l'objet du présent rapport.

Le mode de captage et d'aménagement de la source ther-
male de Bourbon-l'Archambault est décrit dans un rapport
relatif au curage du réservoir; on rapp
qu'elle sort à la température de 52 de
d'une fente de granite placée vers 5 mè
du sol, et qui occupe le grand axe d'un

rain rectangulaire de 5^m,90 de long sur 1^m,72 de large et 2^m,70 de haut, débouchant à 0^m,50 au-dessus du sol par trois orifices circulaires en forme de puits.

Sur ces bouches on a construit une enceinte rectangulaire en briques et ciment de 6^m,66 de long sur 3^m,53 de large et 3^m,36 de haut, avec porte de 1^m,95 sur 0^m,85 à l'angle sud-ouest, et plafond en forme de voûte surbaissée de 0^m,90 de flèche portant à la partie supérieure deux fenêtres à tabatière tant pour éclairer la pièce que pour en faire varier à volonté les conditions d'aérage. Les parois extérieures de cette construction ont été revêtues d'une enveloppe de planches imbriquées, pour prévenir autant que possible les variations de température, et par des raisons de prudence. on a muré l'ouverture des puits de manière à ne plus leur laisser qu'un orifice quarré de 0^m,30 de côté. Telle est en résumé la salle d'inhalation provisoire employée à recevoir les gaz et vapeurs de l'eau minérale en mélange avec l'air atmosphérique naturellement amené par les ouvertures de service. M. le médecin-inspecteur rendra compte des effets obtenus sur les malades qu'on y a placés à la fin de la saison de 1861 et pendant toute celle de 1862; de son côté le soussigné fera connaître dans ce qui suit les analyses exécutées par lui à Bourbon-l'Archambault, aux mois de juin, juillet, août et septembre de la présente année, sur les gaz de la source soit purs, soit à l'état de mélange avec l'air, dans l'enceinte dont il vient d'être question. Cet exposé comprendra trois parties distinctes : prise des échantillons de gaz, moyens analytiques employés et résultats obtenus.

Prise des échantillons de gaz. — Cette partie des opérations avait une importance capitale, attendu que les gaz à analyser devaient être d'abord parfaitement purs, puis placés dans un état tel qu'ils pussent être conservés longtemps sans altération; on insistera donc avec quelques détails sur les moyens employés à cet effet.

Les gaz de la source se dégagent en bouillonnant et avec plus ou moins d'abondance suivant les points, de la nappe d'eau minérale qui se tient généralement vers 1^m,50 et plus en contre-bas de l'orifice des puits. En présence de ce mode d'émergence dont le point même est difficilement abordable et tangible à cause de sa distance des orifices et de la haute thermalité de l'eau, on a appliqué avec succès l'appareil (Pl. II, fig. 8) aux prises d'échantillons : il se compose d'une éprouvette AB de 0^m,20 de long sur 3 1/2 à 4 centimètres de diamètre, terminée par un tube soudé de 5 centimètres de long et de 13 millimètres de diamètre seulement, auquel est adapté un gros tube de caoutchouc BC de 0^m,40 de long, prolongé lui-même par un tube de verre CE de 1 mètre, portant en D un entonnoir en verre à large ouverture fixé par sa douille au tube de verre à l'aide d'une tubulure en caoutchouc. Ce système, long de 1^m,85 environ devait, pour remplir l'office de cloche pneumatique, être retourné plein d'eau à la surface du réservoir, placé comme on l'a vu à une trop grande profondeur pour qu'on pût y arriver par les moyens ordinaires. On opérait alors de la manière suivante : l'entonnoir et sa tubulure de caoutchouc étant détachés du tube, on remplissait le système DA d'eau minérale et l'extrémité D en étant fermée avec le doigt, on le retournait sur une cuve à eau auxiliaire, puis sous l'eau, on adaptait l'entonnoir et sa tubulure de manière que le système primitif se trouvait lui-même plein d'eau et retourné sur la cuve. Un petit chaudron en fer blanc-étant alors immergé dans la cuve, on y portait l'entonnoir, puis soulevant chaudron et appareil, on descendait à l'aide d'une corde, le tout convenablement soutenu, dans un des puits de la source, jusqu'à immersion suffisante. On dégageait alors l'entonnoir et l'on remontait le chaudron en maintenant l'appareil retourné et plein d'eau sur le réservoir de la source comme on voulait l'obtenir.

Cette manœuvre exécutée, on l'amenait sur les points où

l'on voulait recueillir du gaz, et on l'y maintenait jusqu'à ce que l'éprouvette fût pleine. Le système étant alors remonté à l'aide de la corde et du chaudron, on l'approchait de la cuve à eau, et profitant de la flexibilité du tube de caoutchouc BC, on le courbait (*fig. 9*) sur le bord de la cuve de manière à immerger, tout en maintenant l'entonnoir dans l'eau du chaudron, l'extrémité de l'éprouvette AB et une portion contiguë du tube : dégageant alors l'éprouvette, on l'obtenait alors sur la cuve à eau pleine de gaz pur, et débarrassé de ses appendices auxiliaires.

Bien qu'en contact avec l'eau minérale elle-même, ce gaz n'eût pu être ainsi conservé longtemps intact; il eût été difficile d'autre part de le transvaser sans colonne d'eau sur le mercure, inconvénient très-grave pour les opérations analytiques. Il a donc fallu le confiner sans eau, et l'on y est parvenu à l'aide de tubes faits sur le modèle réduit de l'éprouvette ci-dessus, ayant pour la commodité des opérations, 10 à 12 centimètres de long sur 2 à 2 1/2 de diamètre dans la partie large, 10 centimètres de long et 5 à 6 millimètres de diamètre à la partie étroite. On prolongeait l'extrémité B par un tube en caoutchouc de 14 à 15 centimètres de long au bout duquel on adaptait un petit entonnoir en verre CD, et tout l'appareil étant rempli d'eau et ainsi retourné sur la cuve, on y introduisait du gaz de l'éprouvette jusqu'à ce que le niveau de l'eau fût descendu un peu au-dessous du point B. Faisant alors fléchir le caoutchouc de manière à placer le tube horizontalement, on en amenait la partie étroite sur la flamme d'une lampe à double courant, puis on l'étirait en E de manière à séparer la partie AD et à en sceller l'extrémité aiguë. Ainsi confiné, le gaz pouvait être comme on voit indéfiniment conservé sans altération et tel qu'il avait été recueilli; en cassant la pointe du tube sur le mercure, on pouvait ensuite facilement le transvaser sans colonne d'eau dans des cloches ou autres appareils appropriés à l'analyse.

Il était beaucoup plus simple de prendre de l'air dans la salle d'aspiration : on y portait un des tubes précédents plein de mercure en tenant l'extrémité libre fermée par le doigt, puis plaçant l'appareil au point où l'on voulait prélever l'échantillon, on laissait couler la plus grande partie du mercure ; fermant de nouveau l'orifice du tube avec le doigt, on l'immergeait ensuite dans le mercure, de sorte que le gaz introduit, ainsi confiné, pouvait être conservé aussi longtemps que de besoin.

Moyens analytiques employés. — On a reconnu par des moyens élémentaires inutiles à rappeler que le gaz de la source est un mélange d'acide carbonique, d'oxygène et d'azote, sans aucune trace d'hydrogène sulfuré ; l'atmosphère de la salle d'aspiration a naturellement une composition analogue et contient aussi beaucoup de vapeur d'eau.

L'acide carbonique a été absorbé par la potasse et dosé par différence.

On a fait ensuite détoner, à l'aide de l'étincelle électrique, le gaz restant additionné soit d'hydrogène seul, soit d'hydrogène et de gaz de la pile quand la proportion d'oxygène ne suffisait pas pour une combustion complète ; le gaz auxiliaire s'annihilant dans la détonation, le tiers de l'absorption représentait dans tous les cas l'oxygène.

L'azote était obtenu par différence.

Ce procédé analytique bien connu a été pratiqué à l'aide de l'eudiomètre de M. Regnault, qui permet d'éviter la plupart des causes d'erreur inhérentes à l'emploi des moyens ordinaires. Avec cet appareil, au lieu de mesurer en volumes ramenés par le calcul à 0 degré et à 760 millimètres les quantités successives de gaz devant concourir au final de l'analyse, on ramène ces gaz saturés de d'eau au même volume, effectivement à la même température, et l'on mesure leur pression. Or il n'est pas inutile de rappeler comment ces pressions, diminuées de la force

tique maxima de la vapeur d'eau correspondante à la température, représentent les volumes.

Soit en effet V le volume constant auquel on ramène tous les gaz saturés d'humidité; H , H' , H'' , etc. leurs pressions respectives dans cet état, t leur température commune, f la force élastique maxima de la vapeur d'eau pour cette température, α le coefficient de dilatation des gaz égal à 0,00367;

Soit d'autre part V_0 , V'_0 , V''_0 , etc. les volumes de ces gaz secs à 0 degré et sous la pression de 760 millimètres, on a les relations bien connues :

$$H - f = \frac{(1 + \alpha t) \times 760}{V} \times V_0 = K \cdot V_0;$$

$$H' - f = \frac{(1 + \alpha t) \times 760}{V} \times V'_0 = K \cdot V'_0;$$

$$H'' - f = \frac{(1 + \alpha t) \times 760}{V} \times V''_0 = K \cdot V''_0.$$

D'où il résulte que les pressions observées diminuées de la force élastique de la vapeur d'eau sont proportionnelles aux volumes des gaz secs ramenés à la même température et à la même pression.

Il était cependant difficile, en raison de la masse du bain où plonge le tube mesureur de l'appareil Regnault, de ramener effectivement le gaz à la température initiale de l'expérience, mais on peut alors corriger par le calcul la pression observée. Soit en effet t' la température du bain, N' la pression du gaz sec observée à cette température, t la température initiale, N la pression qu'on observerait si le gaz occupant le même volume avait la température t . Le volume de ce gaz étant 1 à 0 degré et sous la pression N ,

A la température t' , il devient. $1 + \alpha t'$.

A la température t et sous la même pression, il devient. $1 + \alpha t$.

Or d'après la loi de Mariotte, la pression cherchée à sous laquelle le volume $(1 + \alpha t)$ deviendrait égal au volume normal $(1 + \alpha t')$ est donné par l'égalité :

$$h(1 + \alpha t') = h'(1 + \alpha t).$$

D'où l'on tire pour la valeur de la correction $h - h'$ additive ou soustractive de la pression observée :

$$h - h' = \frac{\alpha(t' - t)}{1 + \alpha t'} \times h' = \Delta \cdot h'.$$

Or dans les expériences, la différence $t' - t$, presque toujours égale à $0^{\circ},1$ ou $0^{\circ},2$, atteignait exceptionnellement $0^{\circ},3$ ou $0^{\circ},4$, et la température de l'eau du manchon était comprise entre 15 et 25 degrés. Toutes les valeurs nécessaires du coefficient Δ auraient donc pu se calculer d'avance en prenant dans la formule ci-dessus les valeurs successives de $t - t'$, $0^{\circ},1$, $0^{\circ},2$, $0^{\circ},3$, $0^{\circ},4$ avec toutes celles de t' supposé varier de dixième en dixième de 15 à 25 degrés. Cependant les corrections ainsi obtenues sont généralement si faibles qu'on a pu les négliger comme rentrant dans les limites des erreurs d'observation.

La méthode précédente donnait les proportions de gaz permanents contenus dans l'enceinte; pour évaluer leur degré hygrométrique, on a employé le procédé de Brünner dit méthode chimique, dans lequel la vapeur d'eau est dosée en poids, et l'on a profité de ces expériences pour faire en même temps le dosage en poids de l'acide carbonique. La figure 10 représente l'aspirateur employé à cet effet, qui est en zinc verni et de la contenance de 56^l,442. Il porte deux tubulures dont l'une A est fermée par un bouchon percé de deux trous dans lesquels passent un thermomètre et un tube manométrique très-étroit ACB dont l'extrémité plonge dans l'eau d'une éprouvette à pied. L'appareil étant rempli d'eau, on fermait la seconde tubu-

lure D à l'aide d'un obturateur en laiton à vis, traversé lui-même par un tube en laiton à robinet CDF, puis à l'aide d'un tube de caoutchouc plus ou moins long, on mettait l'extrémité F de ce tube en communication avec une série de tubes en U grand modèle ou autres appareils absorbants, assemblés entre eux par du caoutchouc, et suspendus à un support dans l'ordre suivant à partir de l'extrémité la plus éloignée de l'aspirateur :

Tube en U n° 1 avec ponce sulfurique.

Id. n° 2 *id.*

Tube de Liebig n° 3 avec lessive de potasse pure à 45 degrés.

Tube en U n° 4 avec ponce imbibée de potasse.

Id. n° 5 avec acide sulfurique.

Id. sans numéro *id.*

Les tubes ayant été préalablement pesés sur une balance sensible au milligramme, l'extrémité libre de l'appareil correspondante au tube n° 1 était portée à l'aide d'un tube de caoutchouc en tel point de l'enceinte que l'on voulait expérimenter, puis on ouvrait convenablement les robinets, et alors l'eau en s'écoulant déterminait dans l'appareil un courant d'air dont les tubes n° 1 et 2 retenant l'humidité et les deux suivants l'acide carbonique.

Le tube n° 5 retenait l'eau enlevée à la dissolution de potasse par le courant de gaz sec, et enfin le tube sans numéro préservait les précédents de la vapeur d'eau pouvant provenir de l'aspirateur. Les tubes en U et la colonne de potasse liquide du tube de Liebig surtout, offrant une certaine résistance au passage de l'air, on comprend que l'écoulement s'arrêtait avant que le niveau du liquide intérieur ne fût descendu à la hauteur de l'orifice du tube d'écoulement. Pour remédier à cet inconvénient, on adaptait alors la buse d'un soufflet au tube aspirateur, puis on insufflait de l'air dans l'appareil jusqu'à ce que le liquide du tube manométrique fût descendu au niveau de celui de

l'éprouvette; on était sûr alors que l'aspirateur avait versé la même quantité d'eau que si l'orifice supérieur en eût été libre, et d'autre part que le gaz contenu avait exactement la pression atmosphérique.

L'expérience terminée, on reportait les tubes sur la balance, et de leur accroissement de poids on concluait la vapeur d'eau et l'acide carbonique absorbés. Au moyen de ces données, du volume d'eau écoulé de l'aspirateur et des observations de température et de pression faites pendant l'expérience, on concluait alors les pressions partielles de la vapeur d'eau et des gaz permanents du volume. Soit en effet :

p le poids de vapeur d'eau.

p' le poids d'acide carbonique.

V le volume de l'aspirateur préalablement jauge.

H la pression moyenne du baromètre pendant l'expérience.

t la température moyenne du gaz aspiré, c'est-à-dire à peu près celle de l'enceinte.

H' la pression du baromètre à la fin de l'expérience.

t' la température du gaz de l'aspirateur à la fin de l'expérience.

f la tension maximum de la vapeur d'eau correspondant à t .

μ le poids d'un litre d'air à 0 degré et à 760^{mm} $\mu = 1^{\text{e}}, 293187$

α le coefficient de dilatation des gaz. $\alpha = 0,00367$

δ la densité de la vapeur d'eau. $\delta = 0,6235$

δ' la densité de l'acide carbonique. $\delta' = 1,52901$

δ'' la densité de l'azote. $\delta'' = 0,97137$

δ''' la densité de l'oxygène. $\delta''' = 1,10563$

Soit d'autre part :

X le volume inconnu d'air analysé.

x la pression partielle de la vapeur d'eau dans le volume X .

y la pression partielle de l'acide carbonique dans le volume X .

z la pression partielle de l'azote dans le volume X .

μ la pression partielle de l'oxygène dans le volume X .

Appelons volume d'air équivalent, le volume d'air celui d'un volume donné de gaz ou de vapeur pris mêmes conditions de température et de pression :

du volume d'air équivalent à chacun des gaz du mélange étant égal au poids du gaz divisé par sa densité, on a :

$$\text{Pour la vapeur d'eau. } \frac{\mu \times X \times x}{760(1 + \alpha t)} = \frac{p}{\delta},$$

$$\text{Pour l'acide carbonique. } \frac{\mu \times X \times \mu}{760(1 + \alpha t)} = \frac{p'}{\delta'},$$

et en représentant par p'' et p''' les poids d'azote et d'oxygène qui occupent à la fin de l'expérience, le volume V de l'aspirateur sous la pression $(H' - f')$ et à la température t' ,

$$\text{Pour l'azote. } \frac{\mu \times X \times z}{760 \times (1 + \alpha t)} = \frac{p''}{\delta''},$$

$$\text{Pour l'oxygène. } \frac{\mu \times X \times \mu}{760(1 + \alpha t)} = \frac{p'''}{\delta'''},$$

Ajoutons ces équations membre à membre, en observant que $x + y + z + U = H$ et que $\frac{p''}{\delta''} + \frac{p'''}{\delta'''}$ représentant le poids du volume d'air équivalent au mélange d'azote et d'oxygène contenu dans l'aspirateur à la fin de l'expérience, on a :

$$\frac{p''}{\delta''} + \frac{p'''}{\delta'''} = \frac{\mu \times V(H' - f')}{760(1 + \alpha t')},$$

il vient :

$$\frac{\mu \times X \times H}{760(1 + \alpha t)} = \frac{p}{\delta} + \frac{p'}{\delta'} + \frac{\mu \times V(H' - f')}{760(1 + \alpha t')}.$$

Divisant membre à membre chacune des quatre équations précédentes par cette dernière, on en conclut, pour les rapports des pressions partielles des gaz à la pression totale, qui expriment aussi les rapports des volumes :

$$\frac{x}{H} = \frac{\frac{p}{\delta}}{\frac{p}{\delta} + \frac{p'}{\delta'} + \frac{\mu \times V(H' - f')}{760(1 + \alpha t')}} = \frac{p}{H}.$$

En faisant

$$K = \frac{p}{\delta} + \frac{p'}{\delta'} + \frac{\mu \times V(H' - f')}{760(1 + \alpha')},$$

$$\frac{y}{H} = \frac{\frac{p'}{\delta'}}{K}$$

$$\frac{z}{H} = \frac{\frac{p''}{\delta''}}{K}$$

$$\frac{u}{H} = \frac{\frac{p'''}{\delta'''}}{K}.$$

Les quantités dont dépendent $\frac{x}{H}$ et $\frac{y}{H}$ résultent des données fournies par l'expérience précédente, de sorte qu'on pouvait immédiatement calculer les proportions de vapeur d'eau et d'acide carbonique. Mais comme p'' et p''' sont inconnus, il fallait, pour compléter le résultat, recourir à l'analyse endiométrique du gaz de l'aspirateur. Soit m et n les nombres de centièmes d'azote et d'oxygène ainsi trouvés, on a $\frac{z}{\mu} = \frac{m}{n}$, d'où l'on conclut, à cause de $m + n = 1$:

$$\begin{aligned} \frac{z}{H} = m \frac{(u + z)}{H} &= \frac{m \left(\frac{p''}{\delta''} + \frac{p'''}{\delta'''} \right)}{K} = m \times \frac{\frac{\mu \times V \times (H' - f')}{760(1 + \alpha')}}{K}, \\ \frac{u}{H} &= n \times \frac{\frac{\mu \times V \times (H' - f')}{760(1 + \alpha')}}{K}. \end{aligned}$$

Ce qui en définitive revient à retrancher de l'unité la somme des proportions de vapeur d'eau et d'acide carbonique, et à partager la différence dans le rapport à n .

Pour extraire de l'aspirateur l'échantillon de gaz

à l'analyse, on opérait de la manière suivante : l'expérience précédente étant terminée, on fermait les robinets r et r' , on liait en e le caoutchouc du tube manométrique, on adaptait à l'extrémité du tube d'aspiration un tube à recueillir les gaz plongeant dans la cuve à eau, puis, à l'aide d'un siphon en verre continué à l'une de ses extrémités par un long tube de caoutchouc formé de deux parties réunies entre elles par une tubulure à robinet destinée à maintenir le siphon amorcé, on mettait le tube d'écoulement de l'aspirateur en communication avec l'eau d'un réservoir suffisamment élevé. Les trois robinets étant ouverts, la pression exercée par la colonne d'eau déterminait alors l'écoulement du gaz qui était recueilli et conservé par les moyens indiqués.

On voit donc en résumé que l'atmosphère de la salle d'inhalation a été étudiée par deux méthodes : la première faisant connaître les proportions de gaz permanents seuls, la seconde donnant en outre la vapeur d'eau.

Ces données bien établies, il importait de comparer les quantités d'oxygène de cette atmosphère artificielle à celle de l'air normal; soit donc :

- O la proportion d'oxygène contenu dans les gaz permanents de la salle d'aspiration;
- e la force élastique de la vapeur d'eau en millimètres dans la salle d'aspiration;
- τ la température.

Soit O' , e' , τ' les quantités analogues pour l'air extérieur,
Soit h la hauteur du baromètre.

On a conclu de ces données que, pour le même volume, les proportions d'oxygène en poids étaient respectivement à l'intérieur et à l'extérieur :

$$\frac{O \left(1 - \frac{e}{h}\right)}{1 + \alpha\tau} \quad \text{et} \quad \frac{O' \left(1 - \frac{e'}{h}\right)}{1 + \alpha\tau'}$$

de sorte que le rapport

$$\frac{O' \left(1 - \frac{\varepsilon'}{h}\right)}{O \left(1 - \frac{\varepsilon}{h}\right)}$$

exprimait leur richesse relative en volume; leur richesse relative en poids était exprimée par

$$\frac{O' \left(1 - \frac{\varepsilon'}{h}\right)}{O \left(1 - \frac{\varepsilon}{h}\right)} \times \frac{1 + \alpha\varepsilon}{1 + \alpha\varepsilon'}$$

Recherche spéciale de l'hydrogène sulfuré. — A l'aide d'une disposition semblable à celle indiquée ci-dessus, on a fait passer à travers un tube de Liebig contenant une solution de chlorure de cuivre ammoniacal, une quantité d'air de la salle d'aspiration correspondante à l'entier écoulement du volume de l'eau qui remplissait l'aspirateur. Aucun précipité n'ayant eu lieu, on en a conclu l'absence de toute trace sensible d'hydrogène sulfuré.

ANALYSE DU GAZ DÉGAGÉ PAR LA SOURCE.

Résultats obtenus. — Le 7 juillet, sous la pression barométrique de 745^{mm},8, on a rempli deux éprouvettes du gaz dégagé par l'eau du puits le plus voisin de l'établissement thermal. On en a ensuite rempli une troisième sur la buvette placée sous le hangar qui longe les cabinets de bains.

Le gaz du réservoir principal crépité presque uniformément sur toute la surface de l'eau minérale, et ce n'est que par places qu'il sort en grosses bulles. Dans la buvette au contraire, le crépitemment n'existe pas, et l'on n'observe que des bulles se succédant à d'assez longs intervalles, et qui paraissent sortir des fentes superficielles de terrain par les-

quelles elles communiquent avec les griffons. Il paraît résulter de là que ce gaz n'est pas régénéré d'une dissolution, mais qu'il émerge de la roche granitique en même temps que l'eau minérale, et très-probablement par les mêmes voies.

Les gaz ainsi recueillis ont été aussitôt renfermés dans des tubes scellés à la lampe, en ayant soin toutefois de marquer ces tubes de mêmes numéros ou de numéros distincts, suivant que le gaz contenu provenait ou non de la même éprouvette. On a donc ainsi obtenu trois séries de tubes :

Tubes n° 1 contenant du gaz recueilli sur la buvette.

Tubes n° 2 } contenant du gaz recueilli dans le réservoir prin-
Tubes n° 3 } cipal.

Les résultats de l'analyse de ces séries sont consignés dans les deux tableaux suivants où, conformément aux principes exposés, les divers gaz ramenés au même volume et sensiblement à la même température sont mesurés par leur pression en millimètres de mercure. Bien qu'une même analyse comprît en général un dosage d'acide carbonique auquel succédait un dosage d'oxygène sur le gaz restant, il a paru plus facile et plus clair d'exposer séparément les résultats relatifs à chaque gaz; les dosages correspondants ayant été marqués de la même lettre peuvent toutefois être facilement rapprochés.

Tableau du dosage de l'acide carbonique au gaz de la source thermale de Bourbon-l'Archambault, au moyen de l'absorption par la potasse.

PRESSION du gaz de l'absorption CO ₂ par KO.	PRESSION de l'acide carbonique contenu.	RAPPORT du volume de gaz pris de CO ₂ au volume primitif.	ACIDE carbonique contenu dans 100 volumes de gaz.	OBSERVATIONS.
(1)	(2)	(3)	(4)	
millim. 573,7 584,7	millim. 378,9 431,2	0,590 0,590	42,0 42,0	Les 3 ^e et 4 ^e colonnes correspondent, l'une à la dif- férence, l'autre au rapport des volumes correspond- ants des deux pos- sibilités. La dernière co- lonne contient le pro- duit par 100 du rapport des nombres de la 3 ^e co- lonne à ceux de la 1 ^{re} .
ans le gaz.			42,0	
793,7 806,8 719,8	181,1 186,6 169,1	0,812 0,814	18,5 18,7 18,6	
ans le gaz.			19,6	
502,2 608,2 484,6	305,5 309,3 300,4	0,609 0,608 "	32,3 32,8 32,9	
ans le gaz.			39,7	

COMPOSITION DES GAZ.

D'après les résultats moyens contenus dans les tableaux ci-dessus, la composition des gaz recueillis l'et peut donc se formuler comme il suit :

DÉSIGNATION.	ACIDE carbonique.	OXYGÈNE.	AZOTE par différence.
Gaz dégagé dans la buvette. . . .	42,9	8,6	57,4
Gaz dégagé dans le réservoir principal.	18,6	9,4	72,0
Gaz recueilli presque au même moment et au même point que le précédent.	33,7	2,1	64,2

Ils contiennent, comme on voit, beaucoup d'acide carbonique, un peu d'oxygène et une forte proportion d'azote. Mais, chose remarquable, des volumes distincts de gaz, bien que recueillis presque au même moment et au même point, ont une composition centésimale très différente. On peut en conclure que les trois gaz se dégagent isolément, et chacun d'eux peut-être, en des points particuliers, de la fente ou faille longitudinale d'où émane le gaz minérale.

ANALYSE DE L'AIR DE LA SALLE D'ASPIRATION PROVENANT COMME DIT DE LA RÉSERVOIR DE LA SOURCE THERMALE
DE BOURBON-L'ARCHAMBAULT.

Tableau du dosage de l'acide carbonique par absorption au moyen de la potasse.

DÉSIGNATION des échantillons d'air analysés.	PRESSION de l'air analysé.	PRESSION de l'air après absorption de CO ₂ par KO.	PRESSURE de l'acide carbonique contenu.	RAPPORT du volume de l'air privé de CO ₂ au volume primitif.	ACIDE carbonique contenu dans 100 volumes d'air.	OBSERVATIONS.
(d) Air recueilli dans la salle d'aspiration le 9 sept. à la fin de l'expérience à l'aspirateur n° 4.	527,0	502,3	24,2	0,955	4,6	Même observa- tion que pour le tableau analogue relatif aux gaz de la source.
Même échantillon.	750,0	715,6	24,4	"	4,5	
Même échantillon.	781,6	749,4	23,4	"	4,3	
Moyenne de l'acide carbonique contenu le 9 septembre.						4,5
(e) Air recueilli le 2 septembre après l'ex- périence, à l'aspirateur n° 3.	503,2	402,6	11,2	0,976	2,2	Même obser- vation que pour le tableau analogue relatif aux gaz de la source.
(f) Air recueilli le 14 septembre.	571,2	550,4	21,4	0,902	2,7	
(A) Air recueilli le 15 sept. au niveau du sol	356,5	520,4	43,1	0,908	3,3	
(A) Air recueilli le 15 sept. à 1 ^m ,50 au- dessus du sol.	503,9	572,3	20,6	0,902	3,4	
Moyenne de la quantité d'acide carbonique trouvée dans 100 parties d'air de la salle d'aspiration.							3,7

Tableau du dosage de l'oxygène de l'air de la salle d'aspiration par combustion avec l'hydrogène.

DÉNOMINATION des échantillons d'air analysés.	PRESSION de l'air déposée de CO ₂ pour l'analyse.	PRESSION après addition d'hydrogène.	PRESSION après décomposition.	GAZ échapés.	OXYGÈNE contenu (2/3 de gram d'air).	OXYGÈNE pour 100 parties d'air primatif.	OBSERVATIONS.
Echantillon d'air pris le 11 août, et dont CO ₂ n'a pas été dosé.	millim. 585,2	millim. 1015,4	millim. 541,0	millim. 573,5	millim. 134,5	20,9	On n'a pas em- ployé de gaz de la pile pour la com- bustion. Les analyses mar- quées d. a. f. a. b.
Même échantillon.	586,7	1031,1	576,7	534,4	113,1	20,7	
Même échantillon.	588,7	933,1	573,8	261,3	170,4	20,6	
Même échantillon.	590,3	931,3	590,4	530,8	123,6	20,6	
Même échantillon.	596,7	1037,0	615,5	502,3	130,8	20,6	
(d) Air recueilli dans la salle d'aspiration le 9 septembre, à la fin de l'expé- rience n° 4 à l'aspirateur.	512,5	949,0	521,4	319,2	106,4	19,7	
(e) Air recueilli le 3, après l'expérience n° 3 à l'aspirateur.	513,0	947,5	532,1	315,4	105,1	20,0	mms.
Air recueilli dans l'aspirateur après l'expérience n° 3.	508,4	949,3	531,7	349,1	116,4	20,5	
Air recueilli dans l'aspirateur après l'expérience n° 4.	530,0	935,4	550,5	324,1	108,0	20,4	
(f) Air recueilli le 14 septembre dans la salle d'aspiration.	560,0	918,0	563,6	300,1	156,1	20,4	
(g) Air recueilli le 15 septembre au ni- veau du sol.	537,5	875,5	543,5	302,0	130,6	20,6	
(h) Air recueilli le 15 septembre à 1 ^m , 50 au-dessus du sol.	597,0	1037,7	667,7	370,0	123,3	20,6	
Moyenne de l'oxygène contenu dans 100 p. d'air privé d'ac. carbonique et avec son ac. carbonique.						20,0	19,8

La composition moyenne de l'atmosphère de la salle d'aspiration supposée sèche peut donc, d'après ces analyses, être représentée comme il suit :

Acide carbonique.	5,7
Oxygène.	19,8
Azote (par différence).	<u>74,5</u>
Total.	100,0

Elle varie naturellement un peu avec les conditions d'aérage de l'enceinte, mais l'acide carbonique s'y présente toujours en quantité très-notable; de plus, la proportion d'oxygène de l'air normal étant de 20,9, celle de cette atmosphère artificielle, qui n'est que de 19,8, lui est par conséquent inférieure de 5 p. 100 environ, même sans tenir compte de la vapeur aqueuse. On voit enfin, et l'on y reconnaît l'effet de l'azote dégagé par la source, que le rapport de ce gaz à l'oxygène qui est égal à $\frac{79,1}{20,9} = 3,78$ dans l'air normal, est supérieur, et atteint 3,85 dans l'enceinte.

Comme vérification, et afin de ne laisser aucun doute sur l'exactitude des résultats ci-dessus, on a soumis à l'analyse de l'air recueilli à l'extérieur de l'enceinte, en même temps que l'on recueillait à l'intérieur celui qui a servi à l'analyse (f) où l'on n'a trouvé, abstraction faite de l'acide carbonique, que 20,4 d'oxygène. Voici les résultats obtenus :

	millimètres.
Air pour l'analyse.	510,8
Air avec hydrogène.	381,1
Mélange précédent après détonation.	<u>560,1</u>
Gaz disparu.	321,0
Oxygène correspondant.	107,0

Pour 100 volumes, la proportion d'oxygène est donc de $\frac{10.700}{510,8} = 20,9$, c'est à dire exactement celle que donnent les auteurs pour l'air atmosphérique pur.

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES FAITES AVEC L'ASPIRATEUR POUR LE DOSAGE EN POIDS DE LA VAPEUR D'EAU ET L'ACIDE CARBONIQUE CONTENUS DANS LA SALLE D'ASPIRATION DE BOURBON-L'ARCHAMBAULT.

Tableau des données de l'expérience.

	EXPÉRIENCE n° 1. 28 août.	EXPÉRIENCE n° 2. 28 août.	EXPÉRIENCE n° 3. 8 septembre.	EXPÉRIENCE n° 4. 8 septembre.
p poids de la vapeur d'eau. . . .	1 ^g ,240	1 ^g ,452	1 ^g ,417	1 ^g ,426
p' poids de l'acide carbonique. . .	2 ^g ,517	2 ^g ,404	1 ^g ,811	3 ^g ,684
H pression moyenne du baromètre.	743 ^{mm} ,0	749 ^{mm} ,5	748 ^{mm} ,4	742 ^{mm} ,2
t température moyenne du gaz aspiré.	26°,8	27°	26°,1	25°,9
H' pression du baromètre à la fin de l'expérience.	745 ^{mm}	749 ^{mm} ,5	748 ^{mm} ,3	741 ^{mm} ,9
t' température dans l'aspirateur à la fin de l'expérience. . . .	26°,5	27°	26°,5	27°

Le volume de l'eau éconlée V est pour toutes ces expériences égal à 56^l,442.

Tableau des calculs.

	$\frac{p}{S}$	$\frac{p'}{S'}$	$\frac{H \times V (H' - f')}{760 (1 + \alpha f')}$	SOMME ou valeur de K.	TENSION relative de la vapeur d'eau $\frac{x}{H}$	TENSION relative de l'acide car- bonique $\frac{y}{H}$	TENSION relative de l'oxygène et de l'azote $\frac{y+x}{H}$
Expérience n° 1.	1,6848	1,3191	62,3225	65,6301	0,0203	0,0201	0,0406
— n° 2.	2,3287	1,5722	63,2289	67,1298	0,0234	0,0234	0,0419
— n° 3.	2,2725	1,1844	63,2909	66,7478	0,0340	0,0177	0,0483
— n° 4.	2,2870	2,4694	62,5645	67,2612	0,0340	0,0358	0,0302

Comme on l'a vu dans le tableau des analyses eudiométriques, la proportion d'oxygène contenu dans le gaz de l'expirateur était :

A la fin de l'expérience n° 3 de	0,205
A la fin de l'expérience n° 4 de	0,204

En multipliant respectivement par ces deux nombres la somme des tensions relatives de l'oxygène et de l'azote dans les expériences n° 3 et 4, on aura donc les tensions relatives de l'oxygène, savoir :

Dans l'expérience n° 3.	0,194
Dans l'expérience n° 4.	0,190

La tension relative de l'azote s'obtiendrait par différence.

La proportion d'acide carbonique, même rapportée à l'air sec, est dans ces expériences très-notablement inférieure à celle trouvée ci-dessus, ce qui fait supposer que les appareils à potasse ont été peut-être insuffisants pour retenir ce gaz dont une partie aurait passé dans l'aspirateur. Quant à la vapeur d'eau, la très-faible variation de poids du deuxième tube en U à ponce sulfurique démontre au contraire qu'elle a été totalement absorbée; on est donc sûr de son chiffre, sur le calcul duquel le fait supposé pour l'acide carbonique n'a du reste aucune influence.

Ne considérant donc ici que la vapeur aqueuse, on voit d'abord que les tensions relatives trouvées diffèrent très-peu, et qu'elles donnent une moyenne de 0,033. Si l'on calcule ensuite d'après le produit de ces fractions par la pression moyenne du baromètre la tension absolue en millimètres de mercure correspondante à chacune d'elles, et qu'on mette en regard la tension maximum donnée par les tables pour la température moyenne de l'enceinte, on forme le tableau suivant :

	TEMPÉRATURE moyenne de l'enceinte.	TENSION maximum pour cette température.	TENSIONS trouvées dans l'enceinte.
	degrés.	millimètres.	millimètres.
Expérience n° 1.	26,8	26	23
Expérience n° 2.	27,0	26	26
Expérience n° 3.	26,1	25	25
Expérience n° 4.	25,9	24	25

En tenant compte des difficultés d'une mesure exacte de la température moyenne de l'enceinte pendant une expérience de plusieurs heures, on voit donc que l'accord entre les chiffres des deux dernières colonnes est très-suffisant. Il en résulte que l'atmosphère de la salle d'aspiration est complètement saturée de vapeur d'eau, résultat qu'on pouvait prévoir du reste à l'inspection seule de l'enceinte dont les parois ruissellent d'humidité due à une véritable et incessante distillation de l'eau thermale.

Rapprochant la proportion de vapeur d'eau des chiffres moyens donnés ci-dessus pour les gaz permanents, on trouve que l'atmosphère de la salle d'aspiration telle qu'elle ressort des expériences peut être représentée comme suit :

Vapeur d'eau.	3,3
Acide carbonique.	3,6
Oxygène.	19,1
Azote.	74,0
Total.	100,0

D'après les tables de Kaemtz, aux mois de juin, juillet et août qui correspondent à la saison des bains, la tension de la vapeur d'eau est de 12 millimètres environ dans l'air atmosphérique; si l'on admet en outre une pression moyenne de 745 millimètres, on voit que la proportion réelle de l'oxygène de l'air normal est à cette époque

$20,9 \left(1 - \frac{12}{745}\right) = 20,6$, de sorte que l'atmosphère artificielle de la salle d'aspiration en renfermerait en volume $\frac{20,6-19,1}{20,6} \times 100$, soit 7,3 p. 100 de moins que l'air atmosphérique.

Si l'on admet en outre 20 degrés pour la température extérieure et 27 degrés pour celle de la salle d'inhalation, ainsi que cela a souvent eu lieu dans la même saison, les poids relatifs d'oxygène contenus dans le même volume d'air à l'intérieur et à l'extérieur sont respectivement, d'après ce qui a été dit :

Pour l'intérieur. $19,1(1 + 0,00367 \times 20) = 26,5$
 Pour l'extérieur. $26,6(1 + 0,00367 \times 27) + 22,6$

Un malade dont la respiration serait uniformément réglée aspirerait donc dans le même temps une quantité d'air renfermant en poids $\frac{22,6-20,5}{22,6} = 9,3$ p. 100 d'oxygène en moins dans la salle d'inhalation que dans l'air extérieur.

En somme, il résulte de ce qui précède que la salle d'inhalation provisoire construite sur le réservoir de la source thermale de Bourbon-l'Archambault constitue, par l'effet des gaz et vapeurs qui s'y trouvent mélangés avec l'air atmosphérique, un milieu respiratoire dont la composition chimique et la température peuvent le rendre très-efficace dans le traitement de certaines maladies. Il y a donc grand intérêt à maintenir une annexe de cette nature au projet du futur établissement thermal, et à en réaliser le plus tôt possible la construction.

NOTE .

SUR LES PERTURBATIONS PRODUITES DANS LE MOUVEMENT
DES MACHINES

PAR LES PIÈCES MOBILES DE CES MACHINES.

Par M. H. ARNOUX, ingénieur des mines.

Lorsqu'une machine quelconque est arrivée à un mouvement uniforme, cette uniformité peut être troublée par diverses causes et notamment par le mouvement même de ses pièces mobiles. Nous voulons examiner ici cette cause de perturbations.

C'est à l'occasion de l'emploi des locomotives que cette question s'est présentée à l'attention des ingénieurs, et elle a été traitée fréquemment. M. Nollau, ingénieur au chemin de fer du Holstein, l'a traitée, je crois, le premier dans un mémoire inséré en février 1848 dans l'*Eisenbahn Zeitung* (journal des chemins de fer de Stuttgart). M. Lechâtelier a publié sur le même sujet un mémoire spécial en 1849. M. Yvon Villarceau a établi rigoureusement pour la première fois les conditions auxquelles on doit satisfaire (*Comptes rendus des ingénieurs civils*, 1^{er} semestre 1851). M. Résal a présenté plus simplement les mêmes conditions dans les *Annales des mines* (2^e livraison de 1853). M. Couche, dans la même livraison, a critiqué la règle que l'on suivait dans la pratique pour satisfaire simultanément à deux de ces conditions. Cette règle, en effet, n'était pas exacte.

Les conditions principales auxquelles on doit satisfaire sont au nombre de trois ; mais jusqu'ici on a regardé deux de ces conditions comme étant incompatibles entre elles, et l'on a cru aussi que l'une de ces dernières conditions ne

pouvait pas être satisfaite par une disposition pratique. Nous ferons voir au contraire qu'on peut satisfaire à toutes les conditions sans difficultés sérieuses.

Nous appliquerons spécialement nos raisonnements à une machine analogue aux locomotives; mais ils sont assez simples pour qu'ils paraissent immédiatement applicables à une machine quelconque.

Supposons qu'une machine soit arrivée à un mouvement uniforme; pour que cette uniformité ne soit pas troublée par le mouvement de ses pièces mobiles, il faut que les quantités de mouvement provenant de ces pièces donnent une résultante de grandeur et de direction constantes et un couple résultant dont l'axe ait une grandeur et une direction constantes. Cette condition, qui est d'ailleurs suffisante, équivaut aux deux principes de la conservation du mouvement du centre de gravité et de la conservation des aires, et l'on peut la déduire des considérations les plus simples, comme l'a démontré M. Poincaré. D'après ces principes, le mouvement du centre de gravité doit être uniforme et la résultante des aires décrites par toutes les masses égales de la machine, soit autour d'un foyer fixe, soit autour d'un foyer animé de la vitesse générale de la machine, doit être proportionnelle au temps.

Machines horizontales à un seul cylindre. — Considérons avant tout le cas très-simple d'une machine horizontale à un seul cylindre, dont nous réduirons l'attirail mobile à la manivelle, à la bielle et au piston avec ses accessoires.

Le mouvement absolu du centre de gravité se composera du mouvement général de la machine que nous supposons uniforme et du mouvement relatif de ce même centre. Si donc ce mouvement absolu doit être uniforme, le mouvement relatif le sera aussi. Mais en outre il faudra que ce mouvement relatif soit absolument nul, car s'il n'était pas nul, la machine pourrait se déformer indéfiniment suivant la direction de ce mouvement.

Décomposons le poids B (Pl. IV, fig. 18) de la bielle en deux autres B_1 et B_2 , appliqués, l'un en A du côté de la manivelle, l'autre en B du côté du piston. Soit b la distance AB , b_2 la distance du centre de gravité de la bielle au point A , on aura

$$B_1 = B \frac{b - b_2}{b}, \quad B_2 = B \frac{b_2}{b}.$$

Les poids de l'attirail mobile se trouvent ainsi concentrés sur la manivelle et sur la tige du piston. De cette simple décomposition, il résulte que le centre de gravité ne peut recevoir que deux mouvements relatifs, l'un perpendiculaire à la direction variable de la manivelle, l'autre parallèle à la ligne décrite par le piston. Pour annuler le premier mouvement, on composera le poids M de la manivelle, appliqué à la distance m_g de son centre de rotation, avec B_1 , appliqué à la distance $AC = m$, et l'on placera de l'autre côté de la manivelle un contre-poids Π à la distance p , qui fasse équilibre aux deux premiers autour du centre de la manivelle. On aura donc

$$(1) \quad \Pi p = M m_g + B \frac{b - b_2}{b} m.$$

Telle est la première règle. C'est celle que l'on applique ordinairement en plaçant le contre-poids Π entre les rais de la roue motrice.

Pour annuler le second mouvement, il faut disposer un contre-poids Π' sur la ligne décrite par le piston, qui se meuve en sens contraire de ce piston de telle façon que le centre de gravité de Π' et de l'ensemble $P + B_2$ soit invariable. Supposons que ce contre-poids Π' soit conduit par une petite manivelle p' et par une bielle beaucoup plus longue que cette manivelle, sa distance au milieu de son excursion sera très-approximativement $p' \cos \alpha$, en appelant α' l'angle de la petite manivelle p' avec la ligne CB . De même la distance du centre de gravité des poids P et B_2 au

milieu de son excursion sera $m \cos \alpha$, en désignant par α l'angle de la manivelle avec la ligne CB. En appliquant le théorème des moments, on voit donc que le centre de gravité commun de P_1 , B_1 et Π' sera invariable si l'on a toujours

$$\Pi' p' \cos \alpha' = - (P + B_1) m \cos \alpha.$$

Il faudra donc faire $\alpha' = 180^\circ + \alpha$, c'est-à-dire placer la petite manivelle p' à l'opposé de la manivelle principale au moyen, par exemple, d'un petit levier coudé, et satisfaire à la relation

$$(2) \quad \Pi' p' = \left(P + B \frac{b_1}{b} \right) m.$$

On pourra prendre p' aussi petite que l'on voudra, et reporter Π' où l'on voudra sur la ligne CB, pourvu que sa manivelle soit reliée à la manivelle principale, comme nous l'indiquons.

On pourra aussi donner à la bielle du contre-poids la même longueur qu'à sa manivelle. Dans ce cas, la distance de Π' au milieu de son excursion sera exactement $2p' \cos \alpha'$, et l'on posera

$$\Pi' p' = \left(P + B \frac{b_1}{b} \right) m.$$

On reconnaît avec évidence qu'on ne peut pas remplacer le contre-poids Π' par un autre qui aurait un mouvement circulaire. On ne ferait ainsi que s'écarter de la solution : c'est cette faute que M. Couche a critiquée.

Il ne nous reste plus qu'à appliquer le principe de la conservation des aires. Si nous prenons pour plans des aires : 1° le plan perpendiculaire à l'axe moteur dans lequel se meut l'attirail mobile; 2° le plan vertical passant par l'axe moteur et le plan horizontal passant par ce même axe, il est clair que les aires décrites sur ces deux derniers plans

par l'attirail mobile sont nulles. Nous n'avons donc à considérer que les aires décrites sur le premier plan.

Mais puisque la machine est, d'après notre hypothèse, arrivée à un mouvement uniforme, les aires décrites par les différents points de la manivelle sont proportionnelles au temps. D'ailleurs l'aire décrite par le piston est nulle : nous n'avons donc à considérer que les aires relatives à la bielle, ou, ce qui nous sera plus commode, les moments des quantités de mouvement de ses différents points autour de l'axe moteur, qui doivent donner un moment résultant de grandeur constante.

Le mouvement de la bielle peut être décomposé en deux autres. On peut d'abord faire décrire fictivement à tous ses points des lignes égales et parallèles à l'arc infiniment petit AA' , ce qui amène cette bielle en $A'B''$, puis la faire tourner autour du point A' pour l'amener définitivement en $A'B'$.

Soit, comme plus haut, α l'angle BCA décrit par la manivelle, et, par conséquent, $\frac{d\alpha}{dt}$ la vitesse angulaire. Dans le premier mouvement, tous les points de la bielle donneront des quantités de mouvement parallèles et égales, dont la résultante sera égale à leur somme

$$Bm \frac{da}{dt}$$

appliquée au centre de gravité de la bielle. Décomposons cette résultante en deux autres quantités de mouvement, l'une appliquée en A , que nous pourrions laisser de côté puisque son moment restera constant, l'autre appliquée en B , qui sera

$$Bm \frac{b_g}{b} \frac{d\alpha}{dt}.$$

Décomposons celle-ci en deux autres, l'une dirigée suivant BC , dont le moment sera nul, et l'autre perpendiculaire à

BA, qui aura pour expression

$$Bb_g \frac{m \cos \alpha}{b \cos \beta} \frac{d\alpha}{dt},$$

et dont le bras de levier sera

$$b + m \cos (\alpha + \beta).$$

C'est le moment de cette quantité de mouvement que nous aurons seul à considérer pour le premier mouvement de la bielle.

Passons au second mouvement, c'est-à-dire à la rotation de la bielle autour de A'. Soit μ la masse d'un élément quelconque de la bielle, ρ sa distance au point A', $\frac{d\omega}{dt}$ la vitesse angulaire de ce mouvement de rotation. On aura pour la résultante des quantités de mouvement de tous les éléments de la bielle

$$\frac{d\omega}{dt} \Sigma \mu \rho = \frac{d\omega}{dt} Bb_g.$$

Pour trouver le point d'application de cette résultante, on fera la somme des moments des quantités de mouvement élémentaires, qui sera

$$\frac{d\omega}{dt} \Sigma \mu \rho^2,$$

et on l'égalera au moment de la résultante. Soit x la distance du point d'application de la résultante au point A', on aura

$$\Sigma \mu \rho^2 = x Bb_g;$$

mais si l'on désigne par I , le moment d'inertie de la bielle, par rapport à son centre de gravité, on sait que

$$\Sigma \mu \rho^2 = I + Bb_g^2;$$

on aura donc

$$x = b_s + \frac{I_s}{Bb_s}.$$

On peut calculer aisément $\frac{d\omega}{dt}$. En effet, dans le triangle infiniment petit B'BB'' on a

$$B'B'' \text{ ou } b d\omega : BB'' \text{ ou } m d\alpha :: \cos \alpha : \cos \beta.$$

On aura donc finalement la résultante

$$\frac{d\omega}{dt} Bb_s = \frac{d\alpha}{dt} Bb_s \frac{m \cos \alpha}{b \cos \beta},$$

dont le bras de levier, par rapport au point C, sera

$$x + m \cos (\alpha + \beta).$$

Ainsi donc les deux mouvements de la bielle donnent lieu à deux résultantes identiques, mais appliquées l'une en B, l'autre à la distance x du point A. Ces deux quantités sont d'ailleurs en général de sens contraires : la première est dirigée dans le sens de l'arc de rotation de la manivelle, la seconde est dirigée en sens contraire. Pour rendre constant le moment résultant de leurs deux moments, quelle que soit la valeur de α , il faut le rendre nul, et par conséquent faire coïncider les deux points d'application, d'où il suit :

$$b = b_s + \frac{I_s}{Bb_s}$$

ou

$$I_s - Bb_s(b - b_s) = 0.$$

On pourrait chercher à réaliser cette condition en donnant à la bielle une forme particulière. Il faudrait à cet effet lui donner entre les points A et B la section minima nécessaire (eu égard aux efforts qu'elle doit supporter), et

au delà de ces points, soit la prolonger d'une grande longueur, soit lui donner un poids excessif. Cette solution n'étant pas praticable, nous la laisserons de côté pour simplifier notre exposé et nous nous contenterons d'en indiquer une autre.

Les deux quantités de mouvement dont nous venons de parler étant égales et perpendiculaires à AB, le moment résultant sera

$$(b-x)Bb, \frac{m \cos \alpha}{b \cos \beta} \frac{d\alpha}{dt} = [Bb, (b-b_1) - I_2] \frac{m \cos \alpha}{b \cos \beta} \frac{d\alpha}{dt}.$$

Pour l'annuler, il faut introduire dans le système deux poids égaux ayant des mouvements contraires et égaux (de façon à ne pas altérer la position du centre de gravité) et donnant lieu à un couple variable constamment égal et contraire au précédent. Or nous pouvons remplacer $\frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$ par $\cos \alpha$ sans erreur sensible. En effet, le rapport $\frac{m}{b}$ est en général inférieur à $\frac{1}{4}$: supposons-le égal à $\frac{1}{4}$. Comme on a toujours

$$m \sin \alpha = b \sin \beta,$$

on en conclura très-approximativement

$$\cos \beta = 1 - \frac{\sin^2 \alpha}{32}.$$

Il suffit donc que la vitesse des nouveaux contre-poids soit en chaque instant proportionnelle à $\cos \alpha$, et comme on a

$$\cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} = \frac{d \sin \alpha}{dt},$$

cela revient à dire que leur distance à un point fixe doit être constamment proportionnelle à $\sin \alpha$.

Ce mouvement est précisément celui que prendrait sur la ligne du piston un point relié à une manivelle calée à 90° *en avant* de la manivelle principale par une bielle de longueur suffisante. Nous ferons donc conduire les nouveaux contre-poids par une manivelle de ce genre : nous les disposerons sur deux glissières horizontales ou sur deux arcs de cercle de faible longueur. Ils seront réunis sur un même levier à des distances égales du centre de rotation de ce levier. Ce centre sera *au-dessus* de la ligne décrite par le piston et le point du levier qui sera sur cette ligne sera conduit comme nous venons de l'indiquer.

Soit Π'' le poids de chaque contre-poids, $2p''$ la longueur du levier qui les réunit. La quantité de mouvement qui anime chacun d'eux sera

$$\Pi'' p'' \frac{d\alpha}{dt},$$

et le moment correspondant sera

$$\Pi'' p''^2 \frac{d\alpha}{dt}.$$

On posera donc

$$2\Pi'' p''^2 = [Bb_2(b - b_2) - I_2] \frac{m}{b}.$$

Lorsque la section de la bielle sera sensiblement uniforme et lorsque les têtes de cette bielle ne seront pas trop longues, on pourra prendre pour B le poids de la bielle de A en B , abstraction faite des renflements des têtes, et poser simplement

$$(3) \quad 2\Pi'' p''^2 = B \frac{bm}{6}.$$

Telle est la troisième règle bien simple que nous proposons.

Soit r la longueur de la petite manivelle auxiliaire qui conduit le levier des contre-poids, a la distance du point

conduit au centre de rotation de ce levier, l'excursion totale des contre-poids sera

$$2r \frac{p''}{n}.$$

Lorsque l'avance du tiroir sera peu considérable, on pourra se servir pour conduire les contre-poids Π'' de l'excentrique de la marche en *avant*; si l'on veut se servir de l'excentrique de la marche en *arrière*, il faudra que le centre de rotation du levier des contre-poids soit *au-dessous* et non plus *au-dessus* de la ligne du piston.

Dans tous les raisonnements précédents, rien n'implique que le cylindre soit horizontal. Si nous l'avons supposé horizontal pour simplifier les termes dont nous nous sommes servis, il est évident que la démonstration s'applique tout aussi bien à un cylindre dont l'inclinaison serait quelconque.

Les conditions (1) (2) (3) résument cette théorie, et nous allons voir qu'elles se retrouvent encore lorsqu'on s'occupe d'une machine à deux cylindres analogue à une locomotive.

Machine à deux cylindres conjugués. — Supposons qu'il s'agisse en général d'une machine à deux cylindres conjugués dont les pistons sont accouplés sur le même arbre moteur. L'inclinaison de ces cylindres peut être quelconque et l'angle des manivelles peut être quelconque. Mais pour nous conformer aux dispositions usuelles, nous supposerons que les cylindres sont parallèles et que les manivelles font entre elles un angle de 90 degrés. Nous réduirons encore, quant à présent, l'attirail mobile de chaque cylindre à la manivelle, à la bielle et au piston avec ses accessoires.

Concevons la machine comme composée de deux autres analogues à celle que nous venons d'examiner, et appliquons à chacune de ces machines séparément les trois règles que nous venons de trouver. Il est clair que nous aurons annulé les perturbations provenant des appareils mobiles.

En effet, tous les poids se font équilibre : par conséquent le centre de gravité sera invariable. En même temps, les moments des quantités de mouvement par rapport à l'axe moteur seront constants. De plus, les quantités de mouvement elles-mêmes donnent des résultantes nulles dans les plans perpendiculaires à l'axe moteur qui passent par les tiges des pistons. Elles donneront donc des moments nuls par rapport à deux autres axes rectangulaires partant du milieu de l'arbre moteur et perpendiculaires à cet axe. L'uniformité du mouvement est donc assurée.

Mais on se demandera si l'on ne pourrait pas l'obtenir plus simplement. On pourrait en effet annuler les mouvements du centre de gravité perpendiculairement aux deux manivelles en se servant d'un contre-poids placé dans un plan perpendiculaire à l'axe moteur en son milieu. Ce contre-poids serait placé sur la bissectrice de l'angle des manivelles à l'opposé de ces manivelles, et il serait choisi de façon à les équilibrer. Mais on voit de suite qu'on laisserait subsister des couples variables autour des deux axes perpendiculaires à l'axe moteur, et qui proviendraient des quantités de mouvement des deux manivelles. Les conditions déjà énoncées sont donc tout à la fois nécessaires et suffisantes.

Des bielles et manivelles auxiliaires.— Une machine pourrait renfermer, outre les bielles et manivelles principales, des bielles et manivelles auxiliaires. Tel serait le cas d'une locomotive dont les essieux seraient couplés deux à deux. Nous appliquerons à ces pièces une règle spéciale fort simple.

Décomposons le poids de la bielle de connexion en autant de poids composants qu'il y a de manivelles auxiliaires. Lorsqu'il y aura plus de deux manivelles auxiliaires, cette décomposition sera indéterminée et l'on devra choisir les valeurs les plus convenables. On composera ensuite chacun de ces poids avec le poids de la manivelle correspondante,

et l'on équilibrera le poids résultant par un contre-poids placé sur la manivelle à l'opposé du tourillon, comme nous l'avons fait plus haut pour la manivelle principale. Soit B' l'un des poids composants du poids de la bielle de connexion, M' le poids de la manivelle correspondante, m' la longueur de cette manivelle, m'_g la distance de son centre de gravité à son centre de rotation, Π_1 le contre-poids à placer à la distance p_1 du centre, on aura

$$(4) \quad \Pi_1 p_1 = M' m'_g + B' m'.$$

Cette règle est complète, car tous les poids sont équilibrés : il ne résultera donc de leur mouvement aucun déplacement du centre de gravité. Les moments autour de l'axe moteur seront constants, et les moments autour des deux autres axes seront nuls.

De l'application des règles précédentes. — Les règles précédentes sont assez simples et assez nettes pour que nous nous dispensions d'insister sur leur énoncé ; mais il est bon de se rendre compte des sujétions qu'elles peuvent imposer.

En suivant l'analyse précédente, on peut réduire à cinq genres de mouvements différents les perturbations qu'une machine peut éprouver. Elle peut prendre deux mouvements linéaires, le premier perpendiculaire à la direction variable de chaque manivelle, le second parallèle à la ligne que décrit un des pistons. Nous désignerons ce dernier mouvement sous le nom de mouvement de *tangage*. Elle peut prendre aussi trois mouvements de rotation, le premier autour d'un axe de direction variable perpendiculaire à la manivelle, que nous pourrions appeler le mouvement de *lacet*, le second autour d'un axe parallèle à la ligne décrite par le piston que nous pourrions appeler le mouvement de *roulis*, le troisième autour de l'axe moteur, qui sera le mouvement de *galop*.

Dans une machine fixe, les mouvements linéaires et les mouvements de lacet et de roulis ont peu d'importance, à

cause de la stabilité qu'on donne à ses fondations. On doit s'appliquer surtout à annuler le mouvement de galop au moyen des contre-poids doubles Π'' . Toutefois il sera bon de détruire aussi les mouvements oscillatoires perpendiculaires à la manivelle et les mouvements de tangage.

Dans une machine locomotive tous les mouvements perturbateurs ont de l'importance, mais à première vue, et sauf à contrôler cette assertion par les faits, on attribuera moins d'importance aux mouvements dont la direction est continuellement variable, c'est-à-dire aux mouvements oscillatoires perpendiculaires à la manivelle et aux mouvements de *lacet* dont l'axe de rotation change continuellement.

Or, si nous nous reportons à nos raisonnements, nous voyons que les contre-poids Π sont destinés à annuler les mouvements oscillatoires perpendiculaires à la manivelle et les mouvements de *roulis*, que les contrepoids Π' sont destinés à annuler les mouvements de *tangage* et de *lacet*, et que les contre-poids Π'' sont destinés à annuler les mouvements de *galop*.

On pourra donc, dans une machine fixe, placer sans grand inconvénient les contre-poids dans des plans quelque peu écartés des plans des attirails mobiles.

Dans une locomotive, on pourrait écarter de même quelque peu les contre-poids Π' et Π'' de ces mêmes plans : il semble donc qu'on ne subirait un véritable assujettissement que pour les contre-poids Π ; mais si l'on sacrifie en partie les mouvements oscillatoires perpendiculaires à la manivelle, on pourra encore annuler exactement les mouvements de *roulis*, tout en plaçant les contre-poids Π en dehors des plans des attirails mobiles. Soit, en effet, d la distance d'un de ces derniers plans au plan central de la machine, le couple qui produit le *roulis* est égal à

$$d \left[Mm_g + Bm \frac{b-b_g}{b} \right] \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt},$$

et le couple produit en sens contraire par le contre-poids II sera, en appelant d' la distance au plan central du plan dans lequel il se meut,

$$d' \Pi p \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt};$$

on pourra donc poser

$$\Pi p = \frac{d}{d'} \left(M m_1 + B m \frac{b - b_2}{b} \right).$$

Il paraît même que dans la pratique on a été conduit à cette règle, car dans les locomotives à cylindres extérieurs on emploie des contre-poids fixés aux roues motrices et, par conséquent, plus rapprochés du plan central que les plans des attirails mobiles. Or on emploie des contre-poids moins lourds que ceux que donne la règle ordinaire et probablement conformes à la règle que nous indiquons en dernier lieu.

Ces considérations, qui ressortent si naturellement de la démonstration que nous avons suivie, ne paraîtront pas sans doute dénuées d'intérêt.

L'importance des perturbations dont nous nous occupons a été reconnue depuis longtemps, surtout dans la pratique des locomotives et des machines de bateaux à vapeur. Une réflexion simple peut aussi la faire ressortir.

Désignons par le terme d'*impulsion* de la force motrice, faute d'une meilleure expression, l'intégrale du produit de cette force et de l'élément du temps pendant un temps déterminé. On sait que cette expression est homogène avec les quantités de mouvement, et que l'intégrale des moments dus aux impulsions élémentaires est homogène avec les moments des quantités de mouvement. De plus, la première intégrale est constamment égale à la résultante des quan-

tités de mouvement de la machine, et la seconde au couple résultant de ces mêmes quantités.

Or si l'on examine spécialement une machine à vapeur à deux cylindres dont les manivelles sont calées à 90 degrés sur l'arbre moteur, et dans laquelle la vapeur agit à pleine pression, on reconnaît que les inégalités des deux intégrales dont nous venons de parler s'élèvent à 1 sixième de leur valeur moyenne. Les perturbations que nous examinons sont de même ordre, et ont par conséquent une grande influence sur le mouvement de la machine. C'est ce qui nous engage à nous occuper encore de deux types de machines fort répandus : on pourra bien aisément adapter les conditions que nous trouverons aux diverses variétés de ces types.

Machine à balancier. — Considérons une machine à balancier ordinaire : le balancier est placé au-dessus du cylindre et de l'arbre moteur, et les extrémités sont reliées d'une part à la tige du piston, de l'autre à la bielle.

Décomposons le poids de la bielle en deux autres, l'un appliqué sur le bouton de la manivelle et l'autre sur l'extrémité du balancier à laquelle cette bielle est reliée. On peut considérer les arcs décrits par les différents points du balancier comme se confondant sensiblement avec des lignes droites verticales. On voit donc que le centre de gravité de la machine ne peut se déplacer que suivant deux directions, l'une variable et perpendiculaire à la manivelle et l'autre verticale. On annulera son premier mouvement comme nous l'avons déjà fait et au moyen du même contre-poids H. Pour annuler le second mouvement, on fera en sorte que le centre de gravité du balancier, du piston et de la partie B $\frac{b_2}{b}$ du poids de la bielle qui repose sur le balancier se trouve sur l'axe du balancier.

Soient E le poids total du balancier, e sa longueur totale, e' , e'' les longueurs de ses deux parties que nous supposons

n'être pas symétriques, e_g la distance de son centre de gravité à son axe de rotation, on aura par le théorème des moments la relation

$$Ee_g + B \frac{b_g}{b} e' = Pe',$$

dans laquelle e_g sera positive ou négative, selon que le centre de gravité du balancier sera du côté de la bielle ou du côté du piston. On chargera donc l'une ou l'autre extrémité du balancier.

Quant aux couples, nous aurons en premier lieu le couple produit par la bielle autour de l'axe moteur, dont nous annulerons l'effet comme précédemment au moyen des deux contre-poids égaux Π'' . Mais ici la disposition de la figure n'est pas la même; le piston se meut verticalement et les contre-poids doivent glisser horizontalement. Pour que leur distance à un point fixe reste proportionnelle à $\sin \alpha$, on prendra leur mouvement sur une manivelle opposée à la manivelle motrice par exemple, et l'on fera conduire leur levier par un point placé sur l'horizontale du centre de la manivelle. Le centre de rotation de leur levier sera *au-dessous* de cette horizontale.

Un second couple est produit par le balancier et le piston autour de l'axe du balancier et ne peut être composé avec le premier. En effet, si l'on considère le mouvement du balancier, l'arc décrit par son extrémité a un rayon constant, et si l'on considère le mouvement de la bielle, le même arc a un rayon variable déterminé par le point de rencontre des axes longitudinaux du balancier et de la manivelle, les vitesses angulaires des deux mouvements sont donc différentes. Soit $\frac{de}{dt}$ la vitesse angulaire du balancier que nous n'avons pas besoin de calculer, mais dont la valeur est

$$\frac{m}{e'} \frac{d\alpha}{dt} \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \beta}.$$

Les moments d'inertie des deux parties du balancier, par rapport à son axe de rotation, seront, en appelant H sa hauteur et supposant que sa forme est sensiblement triangulaire,

$$\frac{E'(3H^2 + e'^2)}{6}, \quad \frac{E''(3H^2 + e''^2)}{6},$$

valeurs qu'on vérifiera aisément en supposant successivement H infiniment petite ou e' et e'' infiniment petites. Ces deux parties et le piston donneront donc le couple

$$\frac{ds}{dt} \left(P e''^2 + \frac{EH^2}{2} + \frac{E'e'^2 + E''e''^2}{6} \right),$$

On annulera ce couple au moyen de deux contre-poids égaux Π''' , placés sur deux glissières horizontales au-dessus et au-dessous de l'axe du balancier. Comme leur rotation doit être contraire à celle du balancier, le point de leur levier commun, qu'on fera conduire par l'axe de rotation, sera placé entre cet axe et l'axe de rotation du levier. On aura, en appelant p''' leur commun bras de levier,

$$2\Pi'''p''' = P e''^2 + \frac{EH^2}{2} + \frac{E'e'^2 + E''e''^2}{6},$$

et, quand les deux parties du balancier seront symétriques,

$$2\Pi'''p''' = P \frac{e^2}{4} + E \frac{e^2 + 12H^2}{24}.$$

Telle est la quatrième règle que nous proposons pour ce cas spécial.

Machine oscillante. — Les machines oscillantes sont maintenant fort répandues, et les règles qui les concernent sont importantes. Elles sont malheureusement assez compliquées ou, du moins, nous n'avons pas pu les simplifier. Nous n'a-

vous pas besoin d'ailleurs de répéter que si l'on avait à examiner une machine à plusieurs cylindres, on appliquerait séparément à chaque cylindre les règles que nous allons donner.

La machine que nous examinons se réduit à l'arbre moteur, à la manivelle, à la bielle, au piston et au cylindre. On voit de suite que pendant tout le cours de son mouvement, la bielle passe par un même point de l'axe de rotation du cylindre en même temps qu'elle glisse parallèlement aux arêtes du cylindre. C'est cette propriété bien simple qui va nous servir.

En général, dans les machines oscillantes, l'angle d'oscillation du cylindre atteint 30 degrés; ce maximum a lieu lorsque la bielle est tangente au cercle décrit par la manivelle. Il en résulte que le rapport de la manivelle à la bielle est plus élevé que dans les machines ordinaires, du moins en général, et qu'on ne peut trouver dans la petitesse de ce rapport un moyen de simplification.

La propriété dont nous avons parlé plus haut montre que le centre de gravité de la machine ne peut se déplacer que suivant deux directions variables, l'une perpendiculaire à la manivelle, l'autre parallèle à l'axe longitudinal du cylindre. On annulera le premier mouvement, comme toujours, par un contre-poids Π placé à l'opposé de la manivelle, mais on aura seulement ici

$$\Pi p = Mm,$$

Pour annuler le second mouvement, nous allons faire une construction idéale que nous modifierons ensuite pour la rendre praticable. Nous considérerons en effet un poids qui peut se mouvoir suivant l'axe longitudinal du cylindre, sans tenir compte des obstacles matériels. Ce poids doit être tel que le centre de gravité, qui lui est commun avec la bielle et le piston, reste toujours sur l'axe de rotation du cylindre. Soient K ce poids, β sa distance à la manivelle qui doit le

conduire, χ la distance variable du bouton de cette manivelle à l'axe de rotation, l la distance variable du bouton de la manivelle principale au même axe. Il faudra qu'on ait constamment

$$K(\beta - \chi) = P(b - l) - B(l - b_0),$$

d'où l'on déduit

$$K\beta = Pb + Bb_0, \quad K\chi = (B + P)l;$$

la distance χ doit donc rester constamment proportionnelle à l et de sens opposé. On conduira donc le contre-poids K par une manivelle, dont le centre serait sur la ligne des centres, qui resterait toujours parallèle à la manivelle principale et dans une direction opposée, et cette manivelle μ sera telle que

$$\mu : m :: B + P : K.$$

Si maintenant nous reportons la figure formée par le poids K , sa manivelle β et sa bielle μ en un point quelconque sans la faire tourner, le centre de gravité des poids B , P et K sera déplacé, mais il restera invariable pendant tout le cours du mouvement. Nous reviendrons sur la position à donner au poids K .

Nous n'avons plus à considérer maintenant que les couples dus aux quantités de mouvement. Ils se réduisent au couple produit par le mouvement de la manivelle autour de son centre qui est constant, puisque nous supposons que la vitesse angulaire est constante, aux couples produits autour de l'axe de rotation du cylindre par la bielle, le piston et le cylindre, au couple produit par le mouvement du contre-poids K autour de son axe de rotation. Nous ne tenons pas compte des couples produits par les glissements puisqu'ils sont constamment nuls.

Soit $\frac{d\omega'}{dt}$ la vitesse angulaire du cylindre qui est aussi

celle du contre-poids K; nous n'avons pas besoin de sa valeur, mais nous indiquerons en passant qu'elle est égale à

$$\frac{m \cos(\alpha + \beta)}{l}$$

ou à

$$\frac{m \cos(\alpha + \beta)}{\sqrt{b^2 + m^2 - 2bm \cos \alpha}}.$$

Soient I_c le moment d'inertie du cylindre par rapport à son axe de rotation, I_p le moment d'inertie du piston par rapport à une parallèle à cet axe menée par son centre de gravité, I_b le moment d'inertie analogue de la bielle. Supposons, pour simplifier, $b_g = \frac{b}{2}$, nous aurons sur l'axe du cylindre et sur celui du contre-poids K les couples

$$\frac{d\omega'}{dt} \left(I_c + I_p + P(b-l)^2 + I_b + B \left(l - \frac{b}{2} \right)^2 + K(\beta - \chi)^2 \right).$$

Nous ne pourrions pas annuler ce couple au moyen de contre-poids placés à des distances fixes d'un axe de rotation, à cause des distances variables l et χ . Il faut donc nous servir de contre-poids qui glisseront en tournant autour d'un axe, dont la rotation serait égale et contraire à $\frac{d\omega'}{dt}$. Il

faut de plus que ces contre-poids soient disposés de telle façon que leur centre de gravité reste immobile. Ces deux considérations nous dictent la solution. Établissons une nouvelle figure semblable dans toutes ses parties à celle que nous avons déjà, mais dans une position symétrique. Sur un levier à coulisses, faisant avec la ligne des centres le même angle que le cylindre, mais dans une position symétrique, et tournant autour d'un point de cette ligne, établissons deux contre-poids P' et B' aux distances b' et $\frac{b'}{2}$ du

bouton d'une manivelle m' établie dans une position symétrique de celle de la manivelle m , puis un troisième poids K' à une distance β' , telle que

$$K'\beta' = P'b' + B'\frac{b'}{2};$$

le poids K' équilibrera constamment P' et B' , et ces poids donneront les couples

$$-\frac{d\omega'}{dt} \left(P'(b' - l')^2 + B' \left(l' - \frac{b'}{2} \right)^2 + K'(\beta' - \chi')^2 \right).$$

Si l'on pose

$$\begin{aligned} P' &= \alpha P, & B' &= \alpha B, & K' &= \alpha K, \\ \beta' \sqrt{\alpha} &= \beta, & l' \sqrt{\alpha} &= l, & l' \sqrt{\alpha} &= l, \end{aligned}$$

on aura un couple constamment égal et contraire à la partie variable du couple précédent (*), et l'on n'aura plus qu'à placer sur le même levier deux contre-poids égaux A à la distance a telle qu'on ait

$$2Aa^2 = I_c + I_1 + I_2.$$

En résumé, voici la disposition que nous proposons : on placera à l'opposé de la manivelle un contre-poids Π à la distance p telle que

$$\Pi p = Mm_p.$$

On prendra sur la ligne des centres, du côté opposé au cylindre, un axe de rotation ; sur cet axe seront montés librement deux forts leviers égaux entre eux (afin qu'on n'ait pas

(*) Nous faisons abstraction pour un moment de la vitesse angulaire.

à s'occuper de leurs moments d'inertie) et présentant des longueurs égales des deux côtés de l'axe. Sur le premier levier glissera un contre-poids K à l'extrémité d'une bielle β telle qu'on ait

$$K\beta = Pb + B \frac{b}{2};$$

on le conduira au moyen d'une petite manivelle μ placée sur le prolongement de la manivelle motrice, par exemple au moyen d'un levier coudé. On aura

$$\mu : m :: B + P : K,$$

Le second levier portera deux contre-poids fixes A à la distance a de son centre telle que l'on ait

$$2Aa^2 = I_c + I_1 + I_2$$

et deux contre-poids mobiles B' et P' tels que l'on ait

$$B'm'^2 = Bm^2, \quad P'm'^2 = Pm^2.$$

P' se trouvera à l'extrémité d'une bielle de longueur b' et B' au milieu de cette longueur. Enfin un deuxième contre-poids K' pourra aussi glisser sur ce levier et sera conduit par une bielle β' et une manivelle μ' . La manivelle de B' et P' qui aura la longueur m' recevra un mouvement égal et contraire à celui de la manivelle motrice, la manivelle du second contre-poids K' n'aura pas besoin d'être conduite, elle sera dans une direction opposée à celle de la précédente.

Cette disposition, quoique compliquée, est parfaitement réalisable par des combinaisons usuelles sur lesquelles nous n'insisterons pas. Nous noterons seulement en terminant qu'en appelant r le rayon du cylindre, F le poids de cha-

cun de ces fonds, R leur rayon, C le poids du cylindre, c sa longueur, on a

$$I_c = F \frac{R^2 + c^2}{2} + C \frac{6r^2 + c^2}{12}, \quad I_r = P \frac{r^2}{4}, \quad I_b = B \frac{b^2}{12},$$

valeurs qu'on vérifiera aisément en supposant R et r infiniment petits ou c infiniment petite.



NOTE

SUR LE SERVICE DES LOCOMOTIVES A HUIT ROUES
(MACHINES ENGERTH DÉCOUPLÉES)
DES CHEMINS DE FER DE L'EST.

Par M. VUILLEMIN, ingénieur en chef du matériel et de la traction
des chemins de fer de l'Est.

Sur les 25 machines Engerth que possédait la compagnie des chemins de fer de l'Est, 19 sont actuellement découplées, c'est-à-dire que le tender a été séparé et rendu indépendant de la locomotive.

L'opération du découplément consiste, comme on sait (*), à supprimer l'articulation du tender avec la machine, placée au-dessus des boîtes à graisse du quatrième essieu, ainsi que les parties des longerons du tender qui enveloppent les côtés latéraux du foyer et sur lesquels repose ce foyer au moyen de tourillons verticaux s'appuyant sur des crapaudines mobiles, puis à rallonger les longerons de la locomotive, de manière à envelopper et à dépasser en longueur la boîte à feu, pour recevoir la traverse d'attelage. Le foyer repose ainsi sur une portion de longeron en porte-à-faux de 2^m,32 sur l'axe du quatrième essieu.

Malgré le poids et les dimensions aussi considérables d'un foyer portant à faux sur des parties de longerons rapportées,

(*) Voir le mémoire par lequel M. Couche a soulevé la question du découplément: *Examen et transformation des machines Engerth à huit roues couplées*, t. XVI (1859), p. 141, et même tome, p. 580. Voir aussi le *Traité des chemins de fer* de M. Perdonnet, 3^e édition, t. III, p. 123 et suiv., 359 et suiv.

l'assemblage de ces longerons avec les anciens a parfaitement tenu; depuis six ans que la première machine ainsi modifiée a été mise en service, aucun inconvénient n'est résulté de la nouvelle disposition, ni pour les bâtis ni pour le mécanisme.

La position de la boîte à feu, laissée en porte-à-faux à une assez grande distance de l'axe du quatrième essieu, devait avoir pour résultat de reporter une plus forte charge sur cet essieu et de diminuer, au contraire, celle de l'essieu d'avant; aussi a-t-il été nécessaire, pour rétablir l'équilibre, et pour répartir, aussi uniformément que possible, la charge totale sur les quatre essieux, de placer à l'avant de la machine, entre les deux cylindres, un contre-poids de 3.700 kilogrammes.

L'addition de ce contre-poids a été blâmée et considérée par quelques ingénieurs comme une surcharge inutile et nuisible à la locomotive. Cette critique serait fondée si la surface de chauffe, la production de vapeur et les dimensions des cylindres ne comportaient pas l'augmentation d'adhérence due à cette surcharge; mais, dans la machine modifiée, la surface de chauffe (environ 197 mètres carrés) et les autres éléments de puissance sont largement suffisants pour utiliser la nouvelle adhérence; et l'on doit reconnaître que l'addition du contre-poids augmenté du poids de la machine que supportait le tender, ayant porté l'adhérence totale de 39.500 à 45.500 kilogrammes, a servi à augmenter d'autant la puissance de traction de la machine. L'expérience a prouvé que la vapeur, même avec l'emploi d'un combustible de médiocre qualité, ne fait jamais défaut dans les machines découplées. Tel a été, du reste, l'avis des ingénieurs de plusieurs compagnies, qui, en adoptant les machines à quatre essieux, avec une surface de chauffe de 195 à 200 mètres carrés, ont porté le poids adhérent à environ 44.000 kilogrammes.

Au 1^{er} avril 1865, les 17 machines découplées, en service

à cette date, avaient effectué ensemble un parcours de 1.394.360 kilomètres, suivant le tableau ci-joint. Chaque machine a parcouru, en moyenne, par an, 29.725 kilomètres, si l'on tient compte du séjour dans les grands ateliers, de réparation et du chômage dans les dépôts, et 34.195 kilomètres, abstraction faite de ces deux causes d'inaction. Ce parcours considérable de fortes machines, travaillant toujours à pleine charge, démontre qu'en dehors des petites réparations journalières qui s'effectuent dans les dépôts, elles ont peu paru dans les grands ateliers, et les grandes réparations que quelques-unes ont subies sont indépendantes du mécanisme et de la modification.

Malgré l'augmentation de charge supportée par les quatre essieux, la variation de pression paraît moindre sur les deux essieux d'arrière qu'avec l'accouplement, et la durée des bandages a augmenté sensiblement, ainsi qu'il résulte des chiffres suivants :

PREMIÈRE PÉRIODE.

Service des machines non découplées, depuis leur mise en service, jusqu'au 1^{er} janvier 1860 :

22 jeux complets de bandages remplacés, parcours moyen, 61.687 ^{kil.}

DEUXIÈME PÉRIODE.

Service des machines découplées et non découplées, du 1^{er} janvier 1861 au 1^{er} avril 1865 :

32 jeux complets de bandages remplacés, dont 10 jeux
de bandages en acier puddlé, de diverses provenances, ^{kil.}
assimilables à ceux de la première période en moyenne, 73.886
8 jeux, bandages Allevard, acier (*). 77.918

(*) 14 jeux d'acier fondu de diverses provenances ont fait chacun un parcours moyen de 88.530 kilomètres; mais il faut observer que les bandages en acier fondu n'avaient que 45 à 50 millimètres d'épaisseur, au moment de leur mise en service, au lieu de 57 à 60 millimètres qu'ont les bandages en acier puddlé ou Allevard.

En résumé, la suppression d'un organe mécanique, assez compliqué (l'accouplement du tender avec la machine dont rien ne justifie la nécessité), a apporté une amélioration sensible aux machines Engerth. Il en est résulté un nouveau type de fortes machines à quatre essieux, d'une construction simple et d'un entretien économique, à adhérence de 44.000 à 45.000 kilogrammes, pouvant facilement, sur rampes de 5 à 6 millimètres, remorquer des charges brutes de 540 à 560 tonnes.

La construction des lignes des deuxième et troisième réseau, pour être économique, exige que l'on adopte de fortes rampes et des courbes de petit rayon, et leur exploitation nécessite des machines d'une grande adhérence. Le type à quatre essieux accouplés, en prenant des dispositions particulières pour le passage des courbes trop roides, convient parfaitement; aussi a-t-il été adopté par plusieurs compagnies, notamment par celles d'Orléans et du Midi, de préférence à l'ancien type avec accouplement.

Chemin de fer de l'Est.

Historique des machines Engerth découplées, jusqu'au 1^{er} avril 1865.

Numéros des machines.	DATE de la mise en service après le découplément.	TEMPS de service effectif.	PARCOURS total après le décou- plément.	PARCOURS annuel. — Service effectif.	RÉPARATIONS dans les grands ateliers.
0,172	31 octobre 1859. .	3 ans et 3 mois. Réparations et chô- mage dans les ate- liers et au dépôt. 2 ans et 2 mois.	kilomèt. 117.202	kilomèt. 36.062	1859. Réparation du mouvement en général 1861. Réparation d'un orifice cassé au cylindre droit.
0,182	25 octobre 1860. .	4 ans et 5 mois.	149.592	33.873	
0,179	29 juin 1861. . . .	3 ans et 11 mois. Chômage au dépôt : 3 mois.	135.186	34.521	
0,175	24 juillet 1861. . .	2 ans 10 mois. Chômage au dépôt : 10 mois.	98.897	34.846	
1,185	6 octobre 1861. . .	3 ans 4 mois. Chômage au dépôt : 2 mois.	102.346	30.735	
1,188	21 novembre 1861.	3 ans 4 mois.	105.429	31.660	
1,187	27 novembre 1861.	2 ans 9 mois. Chômage aux ate- liers : 7 mois.	78.714	28.623	1863. Sept mois de réparation dans les ateliers pour un cylindre cassé à la suite d'un coup de tampon.
1,169	21 mai 1862.	2 ans 10 mois. Chômage aux ate- liers : 3 mois.	87.574	33.111	1864. Trois mois de réparation aux ateliers pour la chaudronnerie.
1,166	30 mai 1862.	1 an.	100.888	33.029	
1,161	26 juillet 1862. . .	1 an 11 mois. Chômage au dépôt : 9 mois.	79.163	41.316	
174	15 décembre 1862.	2 ans 1 mois. Chômage au dépôt : 2 mois.	82.865	39.742	
176	10 décembre 1863.	1 an 8 mois. Chômage au dépôt : 4 mois.	46.775	37.420	
67	21 septembre 1863.	11 mois. Chômage aux ate- liers : 7 mois.	36.678	"	1864. Remplacement d'orifices cassés aux cylindres.
38	18 novembre 1863.	1 an 4 mois.	51.498	38.720	
5	9 décembre 1863.	1 an 4 mois.	46.248	34.773	
1	10 mai 1864.	1 an 1 mois.	36.248	32.563	
1	4 décembre 1864.	" au 4 mois.	9.257	"	
		39 ans 11 mois.	1,361.360	34.195	

Paris, le 20 novembre 1865.

3

EXTRAITS DE MINÉRALOGIE (*)

Par M. DAUBRÉE.

TRAVAUX DE 1860, 1861, 1862 ET 1863.

CRISTALLOGRAPHIE ET FORMATION DES CRISTAUX.

Manuel de minéralogie; par M. Des Cloizeaux.

L'auteur consacre dans son ouvrage une large part aux propriétés optiques des minéraux; les indices principaux de réfraction, l'écartement des axes optiques, les particularités de dispersion des couleurs, et par suite des axes, sont consignés avec tous les détails que comporte un examen sérieux de divers échantillons de provenance différente. L'auteur y montre que l'étude des colorations des axes optiques dans la lumière polarisée fournit des indications précieuses entre des mains exercées, sur la distinction des systèmes cristallins et sur le rapprochement ou la séparation des espèces.

Les minéraux, qui ont fait découvrir à M. Des Cloizeaux des particularités les plus intéressantes et les plus inattendues, sont l'orthose, le mica, la zoisite, la glaubérite, etc.

Outre ces développements, réellement nouveaux, l'ouvrage contient des détails très circonstanciés sur les divers gisements des minéraux, des listes complètes de mesures cristallographiques, et des catalogues de faces observées, représentées sous une forme graphique, au moyen de la représentation stéréographique de MM. Neumann et Miller.

(*) Ces extraits font suite à ceux qui ont été publiés antérieurement dans les *Annales des mines* par M. de Sénarmont, et dont le dernier, relatif aux travaux de 1859, a paru dans le 7^e volume de la 1^{re} série.

Ils paraîtront dorénavant chaque année.

M. Cornu, élève-ingénieur des mines, a bien voulu prendre la part la plus active dans la rédaction de ce travail. A. DAUBRÉE.

Polyédrie des faces des cristaux. — Polysymétrie des cristaux. — Relation entre l'accroissement des cristaux et la gémation (macle); par M. SCACCHI.

L'étude de certains cristaux naturels ou artificiels, comme la fluorine, la galène, le tartrate acide de strontiane, montre l'existence de pyramides très-surbaissées ou de biseaux très-obtus, tenant lieu de certaines faces, et en dehors de la loi du décroissement. D'ailleurs, leurs inclinaisons varient suivant des limites assez étendues (quelques dizaines de minutes). L'auteur développe à ce sujet ses idées sur ces perturbations de la loi d'Haüy.

Les irrégularités des cristaux ont donné lieu à des études qui constituent le second mémoire, dont il serait difficile de donner une analyse abrégée, à cause du grand nombre de faits observés et de la difficulté de les réunir dans des énoncés concis.

Les macles, dont l'auteur s'occupe dans le troisième mémoire, fournissent encore des rapprochements intéressants, et conduisent à des hypothèses sur la constitution cristalline, que M. Scacchi ne donne qu'avec réserve.

Sur l'hémiédrie; par M. SCACCHI.

(*Kenngott*, 1860, p. 175.)

(*Poggendorf Annalen*, t. CIX, p. 365.)

D'après des recherches sur deux cents espèces de cristaux artificiels, l'auteur trouve dans plus d'un quart absence dissymétrique de certaines faces. Il est ainsi amené à distinguer deux sortes d'hémiédrie: l'une, l'hémiédrie *déterminée*, qui a lieu quand des huit angles d'un parallépipède rectangle, quatre sont alternativement tronqués; la seconde, quand les quatre angles supérieurs ou les quatre angles inférieurs sont tronqués: c'est l'hémiédrie *indéterminée*.

Sur un nouvel instrument nommé tripsomètre, pour observer la dureté des cristaux; par M. Q. SELLA.

(*Académie de Turin*, avril 1861.)

Cet instrument a surtout pour but de mesurer la manière dont varie la dureté avec les directions sur les faces des cristaux.

Note sur les modifications temporaires et sur une modification permanente que l'action de la chaleur apporte à quelques propriétés du feldspath orthose; par M. DES CLOIZEAUX.

(Comptes rendus de l'Académie des sciences, t. LIII, p. 61.)

Jusqu'à 400 ou 500 degrés environ, les modifications que subit l'orthose vitreux de Wehr dans l'Elfel, dans l'orientation et l'écartement des axes optiques, sont purement temporaires et analogues à celles qu'on connaissait depuis longtemps dans le gypse et la glaubérite. Mais l'auteur a constaté un fait entièrement nouveau et inattendu, c'est qu'une calcination suffisamment prolongée, vers 700 à 1.000 degrés, rend ces modifications permanentes, et d'autant plus prononcées, que l'action du feu a été plus énergique. On s'est assuré que les changements permanents, n'étant influencés que par la température et la durée de la calcination, et nullement par la rapidité ou la lenteur du refroidissement, ne pouvaient être attribués à des effets de trempe. Les échantillons qui les ont subis sont d'ailleurs susceptibles d'éprouver encore des variations temporaires, lorsqu'on les traite de nouveau comme des plaques non calcinées. L'*adulaire* du Saint-Gothard et la *pietre de lune* de Ceylan se comportent absolument comme l'orthose vitreux de l'Elfel.

Cette propriété a de l'intérêt au point de vue géologique, comme permettant d'évaluer une limite supérieure de la température à laquelle certaines roches ont été soumises.

Mémoire sur un nouveau moyen propre à mesurer l'indice moyen et l'écartement des axes optiques dans certaines substances où cet écartement est très-grand, et sur la séparation de plusieurs espèces minérales, considérées jusqu'ici comme isomorphes; par M. DES CLOIZEAUX.

(Comptes rendus de l'Académie, t. LII, p. 781.)

Après avoir décrit un nouveau procédé qui permet de déterminer les principales propriétés optiques biréfringentes de la grande majorité des substances cristallisées un peu transparentes, l'auteur appelle l'attention des chimistes et des minéralogistes sur la nécessité de faire intervenir cette étude lorsque les propriétés cristallographiques et chimiques ne présentent pas un caractère suffisant de précision. C'est ainsi qu'il est amené à séparer du pyroxène :

- 1° L'*enstatite* ou bisilicate de magnésie et d'oxyde ferreux;
- 2° Les diverses variétés de *bronzite*, qui sont des bisilicates de magnésie;
- 3° L'*hypersthène*, bisilicate ferromagnésien.

Ces trois substances, que leur composition et leurs clivages avaient fait rapporter au pyroxène, cristallisent en effet dans le système du prisme rhomboïdal droit. L'*enstatite* et la *bronzite* peuvent être réunis en une seule espèce, et l'*hypersthène* est regardé comme une *bronzite* très-ferrifère.

Jusqu'à présent on ne connaissait donc pas de pyroxènes cristallisés qui ne renferment de la chaux.

Les mêmes procédés ont servi à distinguer en deux espèces distinctes la *zoisite* et l'*épidote*; ils seront utilisés pour l'étude précise de beaucoup d'autres espèces.

Note sur les formes cristallines et les propriétés optiques biréfringentes du castor et du pétalite; par M. DES CLOIZEAUX.

(Comptes rendus, t. LVI, p. 488.)

L'auteur confirme l'opinion de M. Gustave Rose sur l'identité du *castor* et du *pétalite*.

La forme cristalline est un prisme rhomboïdal oblique de $87^{\circ} 30'$.

Le triphane se rapproche beaucoup de cette espèce minérale par la forme cristalline, mais sans être identique avec elle. Quant à la composition chimique du *castor* et du *pétalite*, c'est celle qu'a donnée Berzélius :



Recherches sur les modifications que subit la vitesse de la lumière, etc.; par M. FIZEAU.

(Annales de chimie et de physique, t. LXVI.)

Recherches sur la dilatation et la double réfraction du cristal de roche échauffé, par M. FIZEAU.

(Annales de chimie et de physique, 4^e série, t. II.)

Dans ces deux mémoires, extrêmement intéressants au point de vue de la physique, et dont nous ne pouvons ici que donner un aperçu rapide, l'auteur décrit une méthode des plus délicates pour déterminer la dilatation et les variations d'indices de réfractions de

lames à faces parallèles sous l'action de la chaleur. Cette méthode est fondée sur les interférences de la lumière dans des circonstances analogues à celles où se produisent les anneaux colorés de Newton.

Par exemple, pour déterminer la dilatation d'une lame, on la place sur la plate-forme d'un trépied horizontal, dont les trois vis calantes se prolongent jusqu'au niveau de la face supérieure. Sur ces trois pointes on dispose la face d'un prisme rectangle, de manière à la mettre, par le jeu des vis, d'une manière rigoureusement parallèle à la face supérieure de la lame. La face hypoténeuse du prisme permet d'envoyer normalement les rayons monochromatiques d'une lampe à alcool salé, et l'on obtient des franges alternativement jaunes et noires par l'interférence des rayons réfléchis sur la face supérieure de la lame et sur la face parallèle du prisme. En portant le système à des températures croissantes, les franges se déplacent par suite de la variation de distance des faces réfléchissantes; ce qui permet de conclure la différence entre le coefficient de dilatation de la lame et celle de l'acier qui forme les vis.

Une disposition analogue permet d'obtenir les variations d'indice avec la chaleur, en faisant usage d'une lame à faces rigoureusement parallèles, car on peut obtenir l'interférence des rayons réfléchis normalement sur la face inférieure et la face supérieure de la lame.

Les résultats généraux obtenus par cette méthode sont les suivants :

Quelques substances, telles que certains crowns, conservent des indices de réfraction constants, malgré les variations de température; d'autres ont un indice croissant avec la température; le spath fluor, au contraire, en possède un qui décroît. Ce fait, jusqu'à présent, n'a été observé qu'avec cette substance.

Une des conclusions les plus importantes du premier mémoire, c'est la vérification des coefficients de dilatation du spath d'Islande, mesurés par Mitscherlich : les nombres donnés par le savant allemand ont été retrouvés par la méthode optique, qui est si délicate, et la concordance entre les nouvelles et les anciennes mesures est extrêmement remarquable.

« On sait que le spath d'Islande, dans la direction de l'axe optique, se dilate comme tous les corps, tandis que dans une direction perpendiculaire à ce même axe, ce n'est plus une dilatation, mais une contraction que l'on observe; ces deux effets opposés occasionnent des changements dans les inclinaisons mutuelles des faces et une altération générale de la forme rhomboédrique, forme qui se rapproche de plus en plus du cube, à mesure que la tempé-

rature s'élève; il était à présumer, et l'expérience a confirmé cette prévision, que les propriétés optiques biréfringentes, si prononcées dans ce cristal, subiraient en même temps des changements correspondants aux changements de la forme cristalline. On a reconnu, en effet, que la double réfraction éprouve une diminution sensible à mesure que la température du cristal s'élève; » car l'indice de réfraction extraordinaire croît rapidement avec la température, et se rapproche de l'indice ordinaire, qui est presque constant.

Quant au cristal de roche, qui fait l'objet spécial du second mémoire, il se dilate deux fois plus dans le sens perpendiculaire à l'axe que dans la direction de l'axe. Le rhomboèdre primitif de cette substance s'éloigne donc du cube à mesure que la température s'élève, contrairement à ce qui arrive dans le spath d'Islande; pourtant il y a analogie, en ce sens que la double réfraction devient moins énergique sous l'action de la chaleur; les valeurs des deux indices se rapprochent l'une de l'autre en s'affaiblissant.

« On voit combien sont singuliers et imprévus la plupart des phénomènes qui se présentent lorsqu'on étudie la dilatation par la chaleur des corps cristallisés, ainsi que les changements correspondants imprimés à la vitesse de la lumière dans l'intérieur de ces corps. » Nous n'insisterons pas sur les conséquences que doivent avoir, au point de vue minéralogique, les résultats des travaux que M. Fizeau poursuit avec tant de persévérance : ces deux mémoires font pressentir des relations numériques extrêmement curieuses et importantes entre des éléments que les minéralogistes avaient jusque-là négligé d'observer.

Recherches sur divers effets lumineux qui résultent de l'action de la lumière sur le corps; par M. E. BECQUEREL.

(*Annales de chimie et de physique*, t. LXII, p. 5.)

Au moyen d'une disposition fort ingénieuse que réalise un *phosphoroscope*, l'auteur a mis en évidence la propriété que possèdent la plupart des corps, et en particulier les minéraux, de restituer la lumière qu'ils avaient absorbée; la difficulté du problème provenait de ce que le temps pendant lequel se fait cette restitution est extrêmement court, souvent inférieur à quelques millièmes de seconde.

Les minéraux les plus intéressants sous ce rapport sont la chaux carbonatée, le rubis, les composés d'urane, les sulfures terreux, le spath fluor, la mellite, la wollastonite.

Nouvelles recherches sur le magnétisme du mica; par M. Fliöcher.
(*Jahrbuch für Mineralogie*, t. XXXI, p. 122.)

Ces recherches font ressortir l'analogie complète qui existe entre les propriétés optiques et les propriétés magnétiques des cristaux. Elles confirment l'idée exprimée par de Sénarmont que les différences dans les caractères optiques du milieu résultent de l'association en proportions variables de deux espèces optiquement différentes.

Pyroélectricité de la pyrite; par M. FRIEDEL.

(*L'Institut*, 1860, p. 430.)

L'auteur a recherché si l'hémiédrie de la pyrite était la cause du développement de l'électricité qu'elle fournit par l'élévation de température : la liaison de ces propriétés est manifeste; quant à l'expression d'une loi nette sur les pôles électriques ou sur la quantité d'électricité développée, M. Friedel n'a pu la formuler à cause des nombreuses irrégularités ou des macles que présentent toujours ces cristaux.

Le cuivre gris et le cuivre pyriteux aussi, quoique moins conducteurs de l'électricité, sont également pyroélectriques.

Sur le dimorphisme du sulfure de zinc; par M. FRIEDEL.

(*Comptes rendus*, t. LII, p. 923.)

M. Friedel a trouvé sur un échantillon rapporté de Bolivie du sulfure de zinc en masse et en cristaux.

L'analyse a donné :

S	Zn	Fe	Pb	Sb	Cu	Somme.
32,6	55,6	3,0	2,7	0,2	traces.	99,1

Le plomb et l'antimoine proviennent de la gangue qu'il est toujours difficile de séparer; les nombres précédents conduisent à la formule ZnS , c'est-à-dire à celle de la blende. Néanmoins ces cristaux sont hexagonaux avec pyramides striées dont les faces adjacentes forment un angle de 129 degrés environ.

Quatre clivages conduisent aux faces et à la base du prisme hexagonal.

MM. H. Sainte-Claire Deville et Troost ont obtenu artificiellement un sulfure de zinc hexagonal et ont ainsi confirmé le dimorphisme de ce corps. M. Friedel a proposé de lui donner le nom de *wurtzite*.

Note sur la densité des zircons; par M. DAMOUR.

(Comptes rendus, t. LVIII, p. 164.)

La densité des zircons varie entre 4,04 et 4,67 malgré l'identité presque complète de la composition chimique. Les indices de réfraction ordinaire et extraordinaire sont également variables et suivent en général la densité.

On peut artificiellement, par calcination, augmenter cette densité, mais on n'atteint pas tout à fait la plus forte de celles qu'on a observées sur les minéraux.

L'auteur paraît adopter deux états allotropiques de la ziroone. Cette matière, en effet, obtenue à l'état d'hydrate dans les laboratoires, montre une vive incandescence lorsqu'on l'expose à la température du rouge sombre. C'est à cette différence d'état moléculaire qu'on devrait rapporter ces variations de densité.

Sur le développement des cristaux; par M. FRANKENHEIM.

(Koenigoltz, p. 178, 1850-51.)

Ce mémoire renferme des observations microscopiques sur la formation des cristaux; l'auteur y développe des idées nouvelles qu'il serait difficile de résumer.

Force cristallogénique; par M. KUHLMANN.

(Comptes rendus, t. LIX, p. 577 et 841.)

L'auteur désigne sous le nom de *force cristallogénique* la tendance des molécules de même nature à constituer des cristaux, celle, par exemple, qui réunit les molécules de gypse déterminées dans une masse d'argile pour constituer un cristal parfait, de forme souvent très-volumineuse et d'une entière transparence.

Un grand nombre de faits intéressants sont consignés dans ce mémoire, dont il serait difficile de faire un résumé. Les cristallisations des métaux, les concrétions, les géodes et divers phénomènes analogues y ont été étudiés avec beaucoup de détails.

Sur la cristallisation; par M. SCHARFF.

(Koenigoltz, p. 176, 1860-61.)

Les cristaux naturels offrent souvent des lits de matière colorante parallèles aux faces : l'auteur est parvenu à reproduire un phénomène analogue en nourrissant des cristaux limpides d'alun dans une solution d'alun contenant en suspension de l'oxyde de fer.

La cristallisation successive dans diverses solutions de nature et de coloration différentes ont amené l'auteur à observer un certain nombre de faits intéressants sur la constitution des minéraux naturels.

Sur la cristallisation; par M. HAUSER.

(Koenigoltz, p. 177, 1860-61.)

Si l'on vient à tronquer un cristal de manière à former une face qui ne soit pas en harmonie avec ses faces naturelles, une nouvelle cristallisation fait disparaître la face artificielle et ramène à la forme ancienne; si, au contraire, la section n'était pas en contradiction avec la forme du cristal, celle-ci continue à se développer régulièrement, peut, avec le temps, devenir semblable aux autres faces. Il y a plus : la présence artificielle d'une nouvelle face persistante amène la formation des faces correspondantes.

Morphogénie moléculaire; par M. A. GAUDIN.

(Comptes rendus, t. LV, p. 692.)

L'auteur expose quelques-unes de ses idées sur le groupement des molécules; il applique ses diagrammes à l'alumine, le chlorure de calcium hydraté, la phénakite et l'émeraude.

Dans une précédente communication, il avait décrit l'alun potassique et ammoniacal (Comptes rendus, t. LIV, p. 861).

On trouvera encore dans le tome LVII, page 42, des Comptes rendus quelques développements géométriques.

Sur la cristallisation des sels en dissolution; par NAUK.

(Koenigoltz, p. 175, 1860-61.)

Ces recherches ont conduit à montrer que le développement des faces ne dépend que de la rapidité de la cristallisation. Chaque sel

a une vitesse de cristallisation normale qui donne au cristal sa forme type. Un développement plus rapide augmente le nombre des modifications, et, par suite, diminue la largeur des faces. En plaçant ces cristaux dans des dissolutions de richesse variable, on arrive à développer inégalement les diverses faces du cristal formé.

Recherches sur les modifications que l'action de la chaleur peut faire subir à la couleur des substances minérales; par M. JANETTAE.

(Comptes rendus, t. LVIII, p. 719.)

Un minéral vert, se rapportant par sa composition aux argiles de filons, a présenté sous l'influence d'une chaleur assez faible, une décoloration complète, qui semblerait devoir être attribuée à la décomposition d'une matière organique. Pourtant cette argile renferme une quantité notable d'oxyde de chrome : c'est un fait de plus à ajouter à l'histoire des décolorations des pierres gemmes, en particulier des émeraudes, des topazes, des cornallines.

PRODUCTION DES MINÉRAUX.

Sur les circonstances dans lesquelles le carbonate de chaux se dépose à l'état de spath calcaire, d'arragonite ou de craie; par M. Gustave ROSE.

(Poggendorf Annalen, t. CXI, p. 156, et t. CXII, p. 42.)

Parmi les faits intéressants que signale ce mémoire et qu'il serait difficile de résumer en peu de mots, on remarque que l'arragonite peut se former à la température ordinaire; cela a lieu lorsque les dissolutions sont extrêmement étendues. Aussi une dissolution de carbonate de chaux dans de l'eau chargée d'acide carbonique évaporée doucement, abandonne sur une lame de verre de la craie en petites boules, de la chaux carbonatée en rhomboédres et de l'arragonite en petites baguettes.

*Sur la matière colorante des émeraudes; par MM. WöHLER
et G. ROSE.*

(Comptes rendus, t. LVIII, p. 1100.)

Les auteurs concluent de leur travail que la coloration de l'émeraude est due à l'oxyde de chrome, suivant l'opinion de Vauquelin, sans cependant contester l'existence d'une matière organique dans ce minéral.

Reproduction de la lévyne; par M. H. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE.

(Comptes rendus, t. LIV, p. 304.)

L'auteur étudie l'action des solutions alcalines concentrées et surchauffées dans des tubes scellés sur des mélanges de silice et d'aluminium en proportions variables.

Ainsi, en chauffant à 170 degrés un mélange en proportions calculées de deux solutions, l'une de silicate de potasse et l'autre d'aluminate de soude, on obtient de petits cristaux hexagonaux qui possèdent la composition et les propriétés optiques de la *lévyne*.

En chauffant à une température plus élevée on n'obtient qu'un sable cristallin presque exclusivement composé de silice. « Cette expérience, remarque l'auteur, me semble digne d'attention en ce sens qu'elle ne permet pas d'espérer qu'on puisse, dans de pareilles circonstances, obtenir les feldspaths, soit l'orthose, soit l'albite, qui étaient le but de mes recherches, la silice se séparant de l'aluminate alcalin pour cristalliser à part. »

Un mélange de silicate et d'aluminate de potasse donne à 200 degrés un sable cristallin dont la composition se rapproche de celle de la *phillipsite*.

L'auteur a encore indiqué un mode de formation d'un silicate amorphe ayant à peu près la composition de l'*ittnerite*. Il n'a pu obtenir ainsi ni l'amphigène ni l'harmotôme, qui semblaient à priori devoir se reproduire.

Il est remarquable que dans tous les silicates produits par cette réaction le rapport des quantités d'oxygène contenues dans l'aluminium et dans les bases alcalines (soude et potasse) est toujours le rapport de 5 à 1, qui est en effet très-fréquent dans la nature et en particulier dans les feldspaths.

Du mode de formation de la topaze et du zircon; par M. H. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE.

(Comptes rendus, t. LII, p. 780.)

Quand on fait passer du fluorure de silicium sur de l'alumine calcinée chauffée au rouge blanc, on la convertit entièrement en staurotide; il se dégage du fluorure d'aluminium. Cette staurotide, comme le minéral naturel, cristallise en prisme rhomboïdal droit et se rapporte à la formule $\text{SiO}_2\text{Al}_2\text{O}_3$: elle ne contient pas trace de fluor.

Le fluorure de silicium en traversant, dans les mêmes circonstances, une colonne composée de couches alternatives d'alumine et de quartz produit encore de la staurotide et à la sortie du tube se retrouve intégralement.

Ainsi le fluor ne se fixant nulle part, a servi à transporter l'une sur l'autre les deux substances les plus fixes et les plus difficiles à combiner que nous connaissions, la silice et l'alumine. Une très-petite quantité de fluor suffit donc pour transformer en staurotide ou minéraliser des quantités indéfinies de silice et d'alumine.

La présence du fluor dans la topaze semblait devoir indiquer une méthode de reproduction artificielle de ce silicate d'alumine. Cependant M. H. Deville n'a jamais vu se produire ce minéral, et même en mettant de la topaze du Brésil dans le courant de fluorure de silicium à côté de l'alumine qui se transforme en staurotide, cette topaze a été entièrement décomposée en perdant 22 p. 100 de son poids. Cette expérience montre de la manière la plus nette que la topaze ne peut être reproduite dans nos laboratoires et n'a pu être formée dans la nature par le contact de l'alumine et du fluorure de silicium à haute température.

Ainsi la topaze a dû être formée par voie humide: les liquides qu'elle renferme confirment cette opinion.

Avec la glucine le fluorure de silicium donne des cristaux très-bien définis qui ne se rapportent par leur composition à aucun minéral naturel.

Mais la zircone chauffée dans les mêmes circonstances reproduit des cristaux octaédriques de zircon semblables à ceux de la somma. La présence d'une petite quantité de fluor dans les roches où se trouve ce minéral a probablement suffi à la production en quantité indéfinie de zircon: en répétant en effet avec des couches alternatives de zircon et de quartz l'expérience citée plus haut, la minéralisation s'opère complètement sans aucune perte de fluorure de silicium.

Il y a une vingtaine d'années M. Daubrée, dans un mémoire sur le minéral d'étain (tome XX *Annales des mines*, 1841), avait appelé l'attention des géologues et des minéralogistes sur le rôle du fluor dans la formation des minéraux. Ces expériences de M. Deville viennent confirmer en tout point les conclusions de ce mémoire.

Reproduction du fer oxydulé, de la martite et de la périclase. — Protoxyde de manganèse cristallisé; par M. H. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE.

(Comptes rendus, t. LIII, p. 130.)

L'auteur étudie l'action de l'acide chlorhydrique sur les oxydes métalliques, et fait connaître de nouveaux faits sur le rôle minéralisateur de ce gaz.

1° *Fer oxydulé*. On l'obtient en traitant le protoxyde de fer, obtenu par M. Debray, par un courant lent d'acide chlorhydrique : il se forme du protochlorure de fer et du fer oxydulé en petits octaèdres réguliers : il ne se dégage pas de vapeur d'eau.

2° *Martite, magnoferrite*. Un mélange de magnésie et de sesquioxyde de fer traité par le courant gazeux d'acide chlorhydrique donne naissance à de la *périclase* et à de petits octaèdres réguliers de spinelle noir $\text{Fe}^2\text{O}^3, \text{MgO}$.

3° *Périclase*. On l'obtient avec la magnésie pure sous la même influence : le chlorure de magnésium au contact de l'eau à chaud ou à froid reproduit également ce minéral.

4° *Hausmannite*. L'oxyde rouge de manganèse cristallise sous l'influence de l'acide chlorhydrique, et les petits octaèdres quarrés qu'on obtient sont identiques à la *hausmannite* naturelle.

5° *Protoxyde de manganèse*. On obtient de beaux cristaux vert émeraude, en cubes ou en octaèdres, en réduisant un oxyde quelconque de manganèse par l'hydrogène, auquel on ajoute à de rares intervalles quelques bulles d'acide chlorhydrique.

Reproduction de l'étain oxydé et du rutile; par M. H. SAINTE-CLAIRE-DEVILLE.

(Comptes rendus, t. LIII, p. 131.)

L'acide chlorhydrique gazeux arrivant sur certains oxydes amorphes, tels que l'oxyde d'étain et de titane, les fait cristalliser.

Les cristaux d'oxyde d'étain ont exactement la forme de la cassitérite.

Le rutile peut aussi être obtenu en fondant un mélange d'acide titanique et de protoxyde d'étain, puis en fondant au rouge avec de la silice qui forme un silicate. Les rutilles de la nature, et notamment celui de Saint-Yrieix, renferment toujours du vanadium.

Nouvelle reproduction des sulfures métalliques de la nature ;
par MM. DEVILLE et TROOST.

(Comptes rendus, t. LII, p. 936.)

Les auteurs ont obtenu le zinc sulfuré en cristaux en fondant ensemble parties égales de sulfate de zinc, de fluorure de calcium et de sulfure de barium. Les cristaux appartiennent au système hexagonal comme ceux que M. Friedel a observés.

Un courant lent d'hydrogène agissant sur le sulfure de zinc chauffé au rouge vif peut aussi faire cristalliser cette substance.

Ils présentent aussi quelques autres sulfures naturels préparés artificiellement, par exemple le pyrite de fer, le pyrite de cuivre, l'argent sulfuré, le cadmium sulfuré.

Reproduction de la willémitte et de quelques silicates métalliques ;
par M. H. SAINT-CLAIRE-DEVILLE.

(Comptes rendus, t. LII, p. 1308.)

L'auteur a étudié dans cette note l'action des fluorure et chlorure de silicium sur divers oxydes.

Le fluorure de silicium, en passant sur l'oxyde de zinc maintenu au rouge cerise clair, produit du fluorure de zinc volatil et du silicate de zinc : la dissolution mutuelle de ces deux composés et la volatilité du fluorure favorisent la cristallisation du silicate, qui reste sous forme de prismes hexagonaux : cette substance, incolore, transparente et faisant gelée avec les acides, répond exactement à la formule $3\text{ZnO}, \text{SiO}_2$: elle est donc identique à la *willémitte*. Le fluorure de zinc réagissant sur la silice donne le même produit, de sorte qu'une quantité limitée de fluorure de silicium peut minéraliser une quantité indéfinie d'oxyde de zinc et de silice au contact ou à distance.

L'action du chlorure de silicium sur l'oxyde de zinc et sur divers autres oxydes est toute différente : pour le zinc en particulier, on

n'obtient pas trace de cristaux; le silicate que l'on forme est extrêmement riche en silice et ne correspond nullement à la willémité comme on l'avait supposé. Au contraire, le chlorure de silicium détruit la willémité naturelle et lui enlève la plus grande partie de son zinc.

Le chlorure de silicium agissant sur l'alumine ne donne pas de *disthène*; sur la glucyne ne donne pas de *phématite*; sur la chaux, pas de *wollastonite*; sur la magnésie, pas de *péridot*. Comme précédemment, les silicates sont généralement amorphes et diffèrent très-notablement par leur composition des silicates naturels correspondants: de même aussi la vapeur de chlorure de silicium, loin d'être favorable à la production de ces minéraux, les détruit complètement: on peut citer également la destruction du grenat et de la tourmaline par la vapeur de ce chlorure.

En un mot, c'est le fluorure de silicium qui est vraiment minéralisateur.

Sur un nouveau mode de reproduction du fer et de quelques oxydes métalliques de la nature; par M. H. SAINT-CLAIRE-DEVILLE.

(*Comptes rendus*, t. LII, p. 1264.)

L'acide chlorhydrique sec à l'état gazeux agissant au rouge vif, transforme le sesquioxyde de fer amorphe en cristaux semblables à ceux de l'île d'Elbe. C'est une action de présence comparable à celle dont l'hydrogène, le fluorure de silicium et d'autres corps avaient déjà donné des exemples. La même réaction enlève aux laves le fer qui s'y trouve combiné et l'isole en le déposant sur place à l'état de fer oligiste.

Il n'est donc pas besoin de la présence de l'eau pour expliquer la formation de ce dernier minéral, comme cela avait lieu dans l'expérience bien connue de Gay-Lussac.

Reproduction de l'anatase, de la brookite et du rutile;
par M. HAUTEFEUILLE.

(*Comptes rendus*, t. LIX, p. 136.)

L'auteur, en faisant réagir dans un tube chauffé du fluorure de titane et un gaz humide, reproduit à volonté l'acide titanique sous l'un de ces trois états, *anatase*, *brookite* ou *rutile*, suivant que la réaction a lieu au rouge sombre, au rouge et au rouge vif. Les limites exactes de ces températures sont données par les points de

volatilisation du cadmium et du zinc. Au-dessous du point de volatilisation du cadmium, on obtient de l'anatase; entre ce dernier et celui du zinc, de la brookite; au delà, du rutile.

L'auteur compare cette méthode à celle qu'a employée M. H. Sainte-Claire-Deville, c'est-à-dire à la cristallisation de l'acide titanique amorphe sous l'influence de l'acide chlorhydrique: il remarque que, dans ce dernier cas, l'action n'ayant lieu qu'au rouge vif, on obtient seulement le rutile, tandis qu'avec l'acide fluorhydrique, on obtient les trois variétés.

De la reproduction du rutile, de la brookite et de leurs variétés: protofluorure de titane; par M. HAUTEFEUILLE.

(Comptes rendus, t. LVII, p. 112.)

On obtient l'acide titanique cristallisé en prismes accolés, transparents et jaunes, en faisant passer sur du titanate de potasse mélangé de potassium un courant d'acide chlorhydrique.

C'est une modification de la méthode de M. Henri Sainte-Claire-Deville. Ces cristaux se rapportent au *rutile*.

En fondant de l'acide titanique pur et du fluorure de potassium et en soumettant la matière à l'action de l'acide chlorhydrique, on obtient des cristaux aciculaires d'un jaune d'or semblables à ceux du *rutile aciculaire* enfermé dans les cristaux de quartz de Madagascar.

Le *rutile laminaire* qu'on rencontre à New-Jersey (États-Unis) s'obtient de la même manière, en opérant sur un mélange d'acide titanique et de fluosilicate de potasse.

L'auteur donne encore la préparation de la *lagénite*, de la *brookite* et de l'*arkansite*, fondée sur l'action minéralisatrice de l'acide chlorhydrique.

L'étude de l'action de l'acide chlorhydrique sur le fluotitanate de potasse a permis à l'auteur de préparer le *protofluorure de titane* et d'expliquer la coloration bleue de certains rutilles aciculaires artificiels.

Études sur quelques titanates et quelques silicates; par M. HAUTEFEUILLE.

(Comptes rendus, t. LIX, p. 732.)

La silice donne avec les bases protoxydes des minéraux qu'on peut rapporter à deux groupes, les pyroxènes RO , SiO_2 et les péri-

dots 2RO , SiO_2 . Dans les composés naturels, les oxydes n'entrent pas indifféremment, car les bases dominantes des pyroxènes sont la chaux et la magnésie, tandis que celles des péridots sont la magnésie et les oxydes de manganèse et de fer.

Ce mémoire contient la reproduction de titanates monobasiques RO , TiO_2 par la combinaison de l'acide titanique avec les bases des pyroxènes et de titanates bibasiques avec les bases des péridots.

La méthode consiste essentiellement dans la réaction de l'acide titanique sur les chlorures ou fluorures de ces métaux.

Sur la reproduction du sphène et de la perowskite;
par M. HAUTEFEUILLE.

(Comptes rendus, t. LIX, p. 694.)

L'acide titanique chauffé avec le chlorure de calcium et la silice dans un gaz inerte donne le sphène; le sphène baigné par le chlorure de calcium est transformé lorsqu'on fait intervenir la vapeur d'eau en perowskite; enfin une grande quantité d'acide chlorhydrique mélangé à de la vapeur d'eau transforme la sphène et la perowskite en acide titanique cristallisé sous forme de rutil.

Production artificielle des oxydes de manganèse et de fer cristallisés, et cas nouveaux d'épigénie et de pseudomorphisme; par M. KULMANN.

(Comptes rendus, 1861, t. LII, p. 1223, 1323, 1324.)

Dans ce travail, l'auteur rend compte de ses recherches sur la transformation lente de divers composés, en particulier de la réduction de certains sels en oxydes métalliques sous l'influence de l'hydrogène naissant ou de la sulfuration de ces composés sous l'action de l'acide sulfhydrique. Divers autres hydracides peuvent donner naissance à des réactions analogues; mais ce qui rend ces recherches particulièrement intéressantes, c'est la conservation de la forme cristalline du composé primitif, la production artificielle d'épigénies. Parmi les substances obtenues par l'auteur, on peut citer les chlorure, bromure, iodure, arsénure, sulfure et phosphure de plomb affectant la configuration extérieure des cristaux du carbonate de plomb qui a servi à les produire; ils présentent un éclat métallique plus ou moins prononcé.

Le sulfure noir de cuivre affecte les formes cristallines de l'oxydure de cuivre ou du carbonate natif de ce métal.

Dans toutes ces épigénies il y a production d'eau et expulsion des acides primitivement combinés; les transformations, d'abord superficielles, sont successivement complétées et pénètrent par une sorte de cémentation jusqu'au centre des cristaux.

L'auteur rappelle une note antérieure sur la transformation du bioxyde de manganèse cristallisé en protoxyde sans changement de forme extérieure par l'action du gaz ammoniac à une température de 300 degrés. Il a obtenu également la hausmannite, affectant la forme cristalline de la pyrolussite. Enfin, dans des recherches plus récentes, il a rencontré la hausmannite présentant la cristallisation de l'acérèse, comme l'indique l'étude qu'en a faite M. Des Cloizeaux.

Les échantillons ont été recueillis dans un four industriel; on y a trouvé également d'autres cristaux parmi lesquels on peut citer du fer oligiste en rhomboédres, base magnétique et même polaire, comme celui du Brésil et de certains volcans.

Production artificielle de quelques oxydes cristallisés;

par M. DEBRAY.

(Comptes rendus, t. LII, p. 985.)

On prépare un certain nombre d'oxydes cristallisés en calcinant à une haute température un mélange de ces oxydes et de sulfate alcalins, lesquels servent de dissolvant et facilitent la cristallisation. L'auteur avait précédemment indiqué la préparation de la glucine en prismes hexagonaux; dans ce nouveau travail, il annonce la production analogue de la *périclase* (magnésie cristallisée), de l'oxyde de nickel et d'un oxyde de manganèse Mn^2O^3 , qui semble identique avec la *hausmannite*.

La décomposition de certains phosphates par les sulfates alcalins à une température élevée a permis également à l'auteur d'obtenir cristallisés l'alumine, l'oxyde magnétique de fer et l'oxyde vert d'urane.

Production électrique de la silice et de l'alumine hydratées;

par M. BECQUEREL.

(Comptes rendus, t. LIII, p. 1196.)

Dans ce mémoire, l'auteur étudie la décomposition par un courant électrique plus ou moins intense d'une solution de silice ou d'alumine dans la potasse pure. Le principal résultat de ces expé-

riences est la production d'une silice hydratée, dont la composition se rapproche de la formule SiO^2HO . Cette substance se dépose au pôle positif de la pile sous forme d'une masse vitreuse, transparente et opaline, qui se redissout dans la potasse lorsque cesse le courant. Desséchée à l'air, elle se fendille à cause de sa grande porosité; mais elle reste assez dure pour que sa poussière raye le verre. Quand elle est sèche, elle est opaque et d'un blanc laiteux; mais aussitôt qu'on la plonge dans l'eau, elle devient translucide comme l'hydropbane. Sa porosité permet de la colorer avec différents oxydes métalliques que la chaleur fait entrer probablement en combinaison de manière à former des silicates; le cuivre, le cobalt et le nickel donnent ainsi de bons résultats.

L'électrolyse de l'aluminate de potasse produit un hydrate d'alumine qui se rapproche du *diaspore* $\text{Al}^2\text{O}^3, \text{HO}$; il est amorphe, mais après dessiccation sa poussière raye le verre et même le quartz.

Nous renverrons au mémoire qui donne le détail des précautions à prendre pour réussir complètement ces expériences.

Reproduction de la galène et du cuivre pyriteux;

par M. DE MARIGNY.

(Comptes rendus, t. LVIII, p. 267.)

Ces deux minéraux ont été préparés par la calcination de la pyrite de fer avec de la litharge pour la galène, avec du cuivre et du soufre pour le cuivre panaché.

L'auteur conclut: 1° que la présence de la pyrite de fer dans la plupart des filons sulfurés témoigne de son action minéralisatrice;

2° Que les gîtes métallifères doivent leur origine à l'influence de hautes températures émises par de vastes foyers souterrains;

3° Que les métaux et métalloïdes sont arrivés à l'état d'émanations gazeuses qui se sont condensées principalement dans les terrains des anciens âges, fissurés par les soulèvements des roches plutoniques.

Formation de cristaux de soufre dans une collection;

par M. GERGENS.

(Leonhardt-Jahrbuch, 1851, p. 551.)

Un échantillon de bitume ou de calcaire bitumineux de Lobsann, où l'on avait déjà trouvé quelques petits cristaux de soufre, fut laissé près de quinze ans à la poussière dans une collection; on le

retrouva alors couvert complètement de nouveaux cristaux octaédriques alignés comme le sucre candi dans les cristallisoirs où sont tendus des fils; l'auteur attribue cette formation à la décomposition de l'acide sulfhydrique dont la masse du bitume était imprégnée.

Sur la formation de la calcédoine avec de l'arragonite par les sources minérales de Carlsbade; par M. PETERS.

(*Leonhardt-Jahrbuch*, 1861, p. 656.)

Il existe dans la collection de Pesth deux échantillons de pisolithes de Carlsbade, recueillis autrefois, à une époque indéterminée, de la calcédoine en alternance contemporaine avec l'arragonite.

Dépôts d'arragonite dans les thermes de Bade; par C. NESSE.

(*Koenigoltz*, p. 22, 1860.)

La composition de ces dépôts est la suivante :

CaC	MgC	Si	Fe et Mn	K	Na	Somme.
94,57	1,22	0,75	1,96	0,19	0,33	99,35

Les géodes montrent des cristaux allongés qui présentent, un peu confusément d'ailleurs, une pyramide orthorhombique.

Sur le mode de formation de l'arragonite; par M. SCHARFF.

(*Leonhardt-Jahrbuch*, 1861, p. 32.)

L'auteur décrit la structure et la disposition de certains cristaux naturels, et cherche à déduire des conséquences sur leur mode de formation.

Production artificielle de la boracite; par M. HEINTZ.

(*Poggendorf Annalen*, t. CXX, p. 613, 1860.)

L'auteur a fait des tentatives inutiles pour obtenir la boracite par voie humide; mais il est parvenu à former par voie sèche une poudre cristalline dont la composition se rapproche de celle de la boracite, dont la forme appartient au système cubique et qui présente d'ailleurs toutes les autres propriétés de cette espèce minérale y compris la pyroélectricité.

SILICATES. — BORATES.

Analyse de l'orthoclase de diverses localités par la méthode spectrale; par MM. KIRCHHÖFF et BUNSEN.

(Poggendorf Annalen, t. CX, p. 180.)

L'orthoclase de Baneno donne des traces de *sodium lithium* et *potassium* : après une attaque par l'acide chlorhydrique, il présente le *calcium*.

L'adulaire du Saint-Gothard se comporte de la même manière, seulement la réaction du *calcium* est faible : le *lithium* manque complètement.

Présence du rubidium et du cæsium dans le lépidolite de Zinnwald en Bohême; par M. SCHROTER.

(Journal für praktische Chemie, t. LXXXV, p. 460.)

L'auteur donne une méthode pour extraire ces deux minéraux que M. Bunsen extrait du lépidolite de Rozema : l'extraction est facile avec celui de Zinnwald.

Composition de l'harmotome et de la phillipsite; par M. RAMMELSBERG.

(Répertoire de chimie, p. 137, 1861.)

M. Rammelsberg a analysé de nouveau l'harmotome d'Andréasberg (I) et l'harmotome de Strontian (II), et a trouvé que ces minéraux renferment :

	(I)	Oxygène.	(II)	
Silice.	48,49	25,16	41,52	24,66
Alumine.	16,35	7,63	18,94	7,91
Baryte.	20,06	2,10	20,25	2,12
Potasse.	2,07	0,35	1,00	0,45
Soude.	trace.	"	1,00	
Eau.	13,00	11,56	12,45	11,96
	99,99		100,24	

Ces deux analyses, de même que celles plus anciennes de Köhler, de Kerl, de Connel et de M. Damour, le conduisent à admettre pour les rapports suivants entre l'oxygène des bases à un atome d'oxygène et celui des sesquioxydes, celui de la silice et celui de l'eau :



Pour la phillipsite, la plus grande partie des analyses s'accorde avec les rapports 1 : 3 : 8 : 5, qui auraient toutefois besoin d'être appuyés sur de nouvelles expériences.

Ces différences de composition entre l'harmotome et la phillipsite sont remarquables à cause de la grande analogie des formes cristallines de ces deux minéraux.

Analyse d'un grenat de Dobschau; par M. RAMMELSBERG.

(Répertoire de chimie, p. 135, 1861.)

Le grenat de Dobschau se trouve renfermé dans de la serpentine vert clair :

	Trouvé.	Calculé.
Silice.	35	36,6
Peroxyde de fer.	28	27,6
Alumine.	3	3,0
Chaux.	30	30,7
Magnésie.	2	2,2
	101	100,0

Les nombres calculés sont déduits de la formule $\text{Fe Ca}^3 \text{O}^6 (\text{SiO}^2)$.
En supposant 6Fe : Al et 10Ca : Mg.

*Recherches sur la silice cristalline et amorphe;
par M. RAMMELSBERG.*

(Poggendorf Annalen, t. CXII, p. 117.)

De ces recherches qui sont la continuation des études de Fuchs on déduit les résultats suivants :

Les minéraux compacts connus sous le nom de *hornstein*, *calcédoine*, *chrysoprase*, etc., se composent, pour la plupart, de quartz, comme H. Rose l'a déjà reconnu. Ils renferment toujours de l'eau, d'où résulte une diminution dans leur densité qui est en général voisine de 2,60.

Il existe des variétés de calcédoine qui sont facilement attaquées par une dissolution alcaline; mais leur densité montre que la quantité de silice amorphe qu'elles renferment est beaucoup moindre que la quantité de silice dissoute par l'eau alcaline, quantité qui a été jusqu'à 6 p. 100 dans une calcédoine de Hongrie.

*Sur l'isomorphisme de quelques silicates; par M. RAMMELSBERG.**(Poggendorf Annalen, t. CIX, p. 581).*

L'auteur établit certains groupes dans les silicates à bases de monoxydes et de sesquioxydes. Ainsi le *grenat*, l'*hélvine*, la *sodalite*, l'*hanŷyne* et la *noséane* qui cristallisent dans le système régulier, l'*hélvine* excepté, et présentent les clivages de dodécaèdre rhomboïdal, forment deux groupes.

Groupe du grenat.	{ Rapport des quantités d'oxygène.	1 : 1 : 2
	{ De la sodalite.	1 : 3 : 4

L'*hélvine* se rattache au groupe du grenat si on la considère comme une combinaison d'un silicate avec le sulfure de manganèse qui cristallise dans le même système.

Au groupe de la *sodalite* appartiennent la *hanŷyne*, la *noséane* et l'*ittnérite* du *Kaiserstahl*.

*Action de la potasse caustique sur les divers minéraux formés par la silice; par M. RAMMELSBERG.**(Poggendorf Annalen, t. CLII, p. 177.)*

La potasse caustique, que l'on a employée pour reconnaître si un minéral compacte formé par la silice est formé de quartz cristallin ou d'opale, peut conduire à des conclusions erronées, car le quartz hyalin en poudre fine est notamment attaqué par la potasse caustique bouillante.

*Analyse de stilbite (heulandite); par M. RAMMELSBERG.**(Répertoire de chimie, p. 136, année 1861.)**Stilbite (heulandite) bien cristallisée de Teigerholm (Islande).*

	Oxygène.	
Silice.	59,63	50,95
Alumine.	15,14	7,07
Chaux.	8,24	2,30
Potasse.	2,35	
Soude.	0,46	
Eau.	Dessiccation à froid.	1,91
	Au rouge.	13,57
		13,76

Ces résultats conduisent aux rapports suivants :



et sont exprimés par la formule



La *heulandite* et la *stilbite* seraient donc deux états hétéromorphes d'une même combinaison.

En regardant une partie de l'eau comme hygroscopique on arriverait, avec M. Damour, aux rapports : 1 : 3 : 12 : 5, qui rapprocheraient la *heulandite* de l'*epistilbite*.

Analyse de quelques tourmalines ; par M. A. MITSCHERLICH.

(*Journal für praktische Chemie*, t. LXXXVI, p. 1.)

Les tourmalines soumises à l'analyse ne renferment pas de peroxyde de fer, mais seulement du protoxyde. Les résultats de M. Rammelsberg sont discutés.

*Présence de la baryte dans le feldspath orthose ;
par A. MITSCHERLICH.*

(*Poggendorfs Annalen*, t. CXXI, p. 251 (1860)).

La baryte dont la présence avait été signalée par M. Sartorius de Waltershausen dans un feldspath orthose engagé dans la dolomie de Binnen (Valais), a été découverte par M. A. Mitscherlich comme très-fréquente dans les feldspaths de diverses localités. M. Mitscherlich a trouvé pour 100 :

Feldspath de Hohenfels dans l'Eifel	1,37
Ruden	2,33
Kempenich	0,79
Rockskill	1,37
Adulaire de Saint-Gothard	0,45

Notice et analyse sur le jade vert ; par M. A. DAMOUR.

(*Comptes rendus*, t. LVI, p. 261.)

L'auteur conclut de la composition chimique de ce minéral qu'on doit le rapprocher du *dipyre* de la famille des *wernerites*, c'est-à-dire de la formule



La coloration verte du jade proviendrait souvent, suivant M. Damour, de la présence de l'oxyde de nickel, ainsi qu'on l'observe dans la chrysoprase et dans un grand nombre de roches serpentineuses.

Sur la nature du jade; par M. STANNY HUNT.

(Comptes rendus, t. LVI, p. 1285.)

Suivant l'auteur, des confusions se seraient successivement introduites sur la roche découverte par Saussure.

Parmi les substances auxquelles on doit conserver le nom de jade, il y aurait deux classes à distinguer suivant la composition chimique: l'une qui se rapproche par sa composition de la méionite (wernerite), c'est le jade du mont Rose; sa densité doit plutôt l'identifier à la zoisite; l'autre qui se rapproche du diopse, c'est le jade analysé par M. Damour; mais sa densité le fait considérer comme une espèce particulière.

Densité environ.	2,7	2,8
Rapport 3 : 2 : 1	Méionite.	Zoisite.
Rapport 6 : 2 : 1	Diopse.	Nouveau jade.

Analyse du mica, du gneiss de Freyberg; par MM. SCHEERER et RUSE.

(Leonhardt Jahrbuch, 1861, p. 261, 265.)

Tous les gneiss gris examinés par Scheerer contiennent deux espèces de mica, l'un noir, l'autre blanc ou très-clair. Le mica clair, qui se trouve en grandes lames très-pures, est remarquable dans sa composition, notamment par la présence de l'acide titanique et de l'oxyde d'étain en forte proportion.

SiO ₂	TiO ₂	SnO ₂
44,30	3,88	3,00

Composition du lépidolite de Rozéna, en Moravie; par M. COOPER.

(Poggendorf Annalen, t. CXIII, p. 339-343.)

Le rubidium, dont l'analyse spectrale avait révélé l'existence à MM. Kirchhoff et Bunsen, y existe dans la proportion de 0,16 p. 100. Ce mica renferme de l'eau combinée en quantité égale à 3,12 p. 100.

*Sur un nouveau borate de magnésie, analysé par M. STROMETER
pour M. KARL PETERS.*

(*Sitzungsbericht der K. K. Academie der Wissens. Zu Wien*, t. XLVIII.)

Ce minéral, qui est un borate de magnésie hydraté, se place à la suite de la boracite et de la stassfurtite.

Il s'est produit dans les gîtes métallifères de Rez banya, au contact des roches éruptives amphiboliques et des roches calcaires, jurassiques et néocomiennes, qui ont été modifiées avec le grenat, la wollastonite et d'autres espèces minérales.

Analyse de la glossécolite Shepard; par M. PISANI.

(*Comptes rendus*, t. LII, p. 210.)

Cette substance se rapproche de l'hallöysite par sa conformation et ses propriétés; elle a été trouvée à Dade, Georgia (États-Unis).

SiO ₂	AlPO ₄	MgO	HO	Somme.
40,4	27,8	8,6	21,8	100,5

*Note sur la rastolite de Monroe, comté d'Orange (New-York);
par M. PISANI.*

(*Comptes rendus*, t. LIV, p. 606.)

C'est une substance ayant tous les caractères extérieurs du mica, mais qui se rapproche plutôt de la chlorite ferrugineuse ou de la ripidolite. Elle est associée à la pyrite dans une quartzite.

L'analyse a donné :

SiO ₂	AlPO ₄	FeO	MgO	HO	Somme.
34,96	21,88	23,44	6,24	2,22	100,76

Ce qui conduit à la formule



Analyse de la pholérite de Lodève (Hérault); par M. PISANI.

(*Comptes rendus*, t. LIII, p. 1072.)

Ce minéral, découvert dans les mines de Fias (Allier), a été retrouvé à Freyberg et analysé dernièrement par Richard Müller.

L'échantillon, analysé par M. Pisani, qui se présente sous forme d'une substance blanche, écailleuse, à l'aspect nacré, infusible au chalumeau, présente une concordance parfaite de composition avec les analyses antérieures.

SiO ₂	AlPO ₄	HO	Somme.
47,0	29,4	14,4	100,8

Ce qui donne pour formule de la pholérite $\text{Al}^3 \text{Si}^4 + 6\text{Aq.}$

Étude chimique et analyse du pollux de l'île d'Elbe; par M. PISANI.

(Comptes rendus, t. LVIII, p. 714.)

Le pollux n'avait été analysé que par Plattner, qui avait indiqué principalement de la silice, de l'alumine, de la potasse et de la soude. Le total de son analyse étant de 93,75, M. Pisani y a reconnu le *cæsium* au lieu du potassium; ce qui ramène l'analyse de Plattner à un total très-satisfaisant, l'équivalent du *cæsium* étant différent de celui du potassium.

La nouvelle analyse de M. Pisani est très-concordante avec l'ancienne :

		Rapport des atomes d'oxygène.
Silice..	44,03	15
Alumine..	15,97	5
Oxyde de fer.	0,63	
Chaux.	0,63	
Oxyde de cæsium. }	34,07	2
Traces de potasse. }		
Soude (un peu de lithine). . . .	3,88	
Eau.	2,40	2

C'est le seul minéral connu où l'un des nouveaux métaux découverts par l'analyse spectrale forme une partie véritablement constituante.

Le pollux se rapproche de l'*analcime* par la forme cristalline et la composition chimique.

*Sur une pseudomorphose de pyroxène du lac Inférieur;
par M. PISANI.*

(Comptes rendus, t. LXXIV, p. 51.)

L'analyse de ce cristal vert clair, très-tendre, et d'une densité de 2,495, rapproche cette substance des *terres vertes* de Fassa (Tyrol), qui souvent aussi conservent la forme de l'*augite*. Le ca-

ractère chimique commun à ces divers gisements, c'est la disparition de la chaux et la présence des alcalis : il semblerait résulter de cette dernière remarque que la décomposition du pyroxène serait due à l'intervention d'un liquide alcalin.

Sur le borate sodico-calcique du Pérou (tinkalzite);
par M. PHIPSON.

(Comptes rendus, t. LII, p. 526.)

L'analyse d'un minéral particulier qu'on trouve au Pérou dans les couches de nitrate de soude a permis de constituer une espèce assez bien définie de la famille des borates. Il affecte la forme de tubercules assez tendres, à cassure soyeuse; l'eau en extrait du borax et du sel marin.

En négligeant les éléments qui paraissent étrangers à sa constitution chimique, on trouve une composition qui se rapproche beaucoup de la formule



L'histoire des composés boriques est encore si incomplète, qu'il est bon d'en recueillir les moindres traits.

Composition de la chlorite, résumé des analyses de divers chimistes.

(Konaigott, 1861, p. 40.)

La formule générale peut être représentée par



x étant variable.

RO étant de la magnésie, remplacée souvent par du protoxyde de fer.

Pseudomorphose d'amphigène analysée; par M. BERGEMANN.

(Répertoire de chimie, p. 127, année 1861.)

Cette pseudomorphose se rencontre à Oberwiesenthal en beaux icosaèdres d'une densité de 2,561, peu attaquables par les acides difficilement fusibles.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	KO	NaO	FeO	MgO	Somme.
	60,46	22,11	13,53	0,32	1,98	1,22	99,62
Oxygène	30,27	10,3	2,29	0,13	0,43	0,48	
			3.33				

Les rapports de l'oxygène de la silice à celui de l'alumine et à celui des deux bases à 1 atome sont : 9,4 : 3,1 : 1, c'est-à-dire voisins de ceux de l'oligoklase 9 : 3 : 1. Les caractères physiques ne s'opposent pas à ce rapprochement.

MÉTAUX ET COMBUSTIBLES.

Sur la nature des colombites et sur le dianium ; par MM. H. SAINTE-CLAIRE DEVILLE et DAMOUR.

(Comptes rendus, t. LIII, p. 1044.)

Dans des recherches sur les colombites de diverses provenances, les auteurs de ce mémoire arrivent à conclure que l'acide dianique de M. de Kobell n'est qu'une modification des acides du niabium décrit antérieurement par M. G. Rose. On trouvera dans cette note quelques détails sur la discussion élevée entre les auteurs et M. de Kobell et les conclusions d'un autre chimiste allemand M. Hermann, qui est arrivé, de son côté, à nier l'existence du nouveau métal le dianium.

Sur la phosgénite ; par M. SELLA.

(Gazette officielle du royaume d'Italie, 1862, n° 16.)

Une combinaison de chlorure et de carbonate de plomb, connue d'abord seulement dans le Derbyshire, a été trouvée en Sardaigne à Gibbes et à Monteponi, en cristaux remarquables par leur beauté et leur dimension.

Fer titané de la Nouvelle-Zélande ; analyse par M. HOGGERATH.

(Leonhardt-Jahrbuch, 1861, p. 582.)

Ce minéral se présente en poudre très-fine et constitue un des

248 EXTRAITS DE MINÉRALOGIE (1860 A 1863).

éléments sablonneux de la plage: cette couche a pour épaisseur 3 mètres, on l'exporte en Angleterre.

FeO	Fe ₂ O ₃	TiO ₂
27,53	46,12	6,17

Description d'un nouveau minéral de l'Oural nommé wagite;
par M. RADOSZKOVSKI.

(Comptes rendus, 1861, t. LIII, p. 1071.)

Il affecte la forme de concrétions hérissées de cristaux indistincts assez brillants. Sa couleur est le bleu clair, sa dureté est 5, et sa densité 3,707. C'est un silicate de zinc.

Si	Ca	Zn	H	Ca et Fe	Somme.
28,0	1,55	64,9	4,7	traces.	99,15

Sa formule est $3ZnSi + Aq$.

Son aspect et sa composition le distinguent de la *smithsonite*.

Sur quelques minéraux yttrotantalifères et yttroniobifères
de Suède; par M. MORDENSKJOELD.

(Poggendorf Annalen, t. CXXI, p. 278.)

D'après un examen des différents minéraux yttrifères de Suède, M. Hordenskjoeld a classé ces minéraux en trois espèces bien distinctes:

1° l'*yttrotantalite*, qui comprend l'*yttrotantalite* noire et l'*yttrotantalite* jaune de Berzelius et cristallise dans le système du prisme rhomboïdal droit;

2° La *fergusonite*, semblable à celle du Groënland, qui est l'*yttrotantalite* brune de Berzelius, cristallise en prisme droit à base carrée;

3° La *hjelmitite*.

Analyse de l'uranite d'Autun et de la chalcélite de Courmouatilles;
par M. PISANI.

(Comptes rendus, t. LII, p. 317.)

Ces deux minéraux avaient été considérés comme complètement isomorphes; la composition chimique paraissait équivalente, et la

forme cristalline identique. Un examen plus approfondi au point de vue chimique par l'auteur et au point de vue cristallographique par M. Des Cloiseaux ont établi une différence assez nette.

Uranite d'Autun.

Ca	Ur^{II}	Ph^{II}	H	Somme.
5,0	59,0	14,0	21,2	100,0

La formule correspondante est assez exactement,



Sa forme cristalline est le prisme rhomboïdal droit.

La *Chalkolite* diffère de l'uranite par la substitution du cuivre au calcium et par un nombre moindre d'équivalents d'eau d'hydratation.

Cu	Ur^{II}	Ph^{II}	H	Somme.
3,6	61,5	14,4	15,5	100,0

On en déduit la formule



Elle cristallise en prisme à base carrée.

Analyse de la dufrenite de Rochefort-en-Barre (Morbihan);
par M. PISANI.

(Comptes rendus, t. LXIII, p. 1020.)

L'échantillon analysé par ce chimiste présente une particularité qui n'avait pas encore été observée dans ce minéral, c'est la substitution de l'alumine au peroxyde de fer.

Ph^{II}	Fe^{III}	Al^{III}	H	Somme.
28,55	54,40	4,50	12,40	99,85

Ce qui correspond à la formule



Sur la nouvelle espèce de cuivre gris diteournetite; par M. MINÉ.

(Comptes rendus, t. LII, p. 311 et 1325.)

La moyenne de plusieurs analyses a donné

Cu	Pb	S	Fe	As	Sb	Somme.
32,0	12,0	23,0	3,0	8,0	22,0	100,0

Ce qui donne pour formule brute :



Cet échantillon provenait des *Ardillats* près Beaujon (Rhône). Un autre, envoyé du *Val Godemer* dans les Hautes-Alpes, a fourni par son analyse une confirmation de la netteté de l'espèce; cependant sa composition est légèrement différente.

Cu	Pb	S	Fe	As	Sb	Somme.
30,8	11,5	21,7	4,5	10,0	21,5	100,0

La formule serait :



ce qui conduit l'auteur à classer les cuivres gris en quatre groupes :

- 1° Ceux qui renferment beaucoup d'arsenic, *rennantites*;
- 2° Ceux qui renferment de l'antimoine sans plomb, *panabases*;
- 3° Ceux qui renferment l'antimoine et le plomb, *bournonites*;
- 4° Ceux qui renferment antimoine, plomb et arsenic, *fournetite*.

Nous ajouterons (*Comptes rendus*, t. LIV, p. 1099) que M. Fournet, à qui cette substance a été dédiée, ne la considère nullement comme une espèce minérale particulière et qu'il la regarde comme un mélange pur et simple de cuivre gris et de galène disséminée en grains microscopiques; c'est ce que lui ont suggéré ses propres recherches.

Sur la présence du platine et de l'étain métallique dans les terrains aurifères de la Guyane; par M. DAMOUR.

(Comptes rendus, t. LII, p. 620.)

L'examen de quelques pépites d'or a donné naissance à quelques remarques nouvelles :

- 1° L'association du platine, de l'or, de l'argent et du cuivre dans le même échantillon n'avait pas encore été signalée; une analyse de l'auteur la met nettement en évidence.

2° L'existence de l'étain métallique parmi les produits du règne minéral, longtemps mise en doute par les minéralogistes, a été reconnue avec certitude dans plusieurs pépites d'or : sa couleur blanche de l'étain, sa malléabilité et ses autres propriétés lèvent tous les doutes à cet égard.

M. Herkmann, du reste, avait annoncé cette association dans l'or de Sibérie.

Examen d'un oxyde d'antimoine naturel (stibiconise) de Bornéo ;
par M. PHIPSON.

(Comptes rendus, t. LII, p. 752.)

La stibine (antimoine sulfuré) qui arrive de cette île est enveloppée d'une espèce de gangue que l'on considère généralement dans le commerce comme stérile.

L'analyse chimique a montré qu'au contraire cette substance est un oxyde d'antimoine hydraté extrêmement riche.

		Oxygène.	Rapport.
Eau.	3,75	3,33	1
Acide antimonieux, SbO^3 .	65,00	12,30	4
Oxyde ferrique. }	10,00		
Alumine. . . . }			
Silice, soufre.	21,25		
	100,00		

D'où l'on peut déduire la formule $SbO^3.HO$.

Sa forme cristalline est évidemment épigénique de celle de la stibine; aussi est-il probable que ce minéral est le produit d'une altération lente du sulfure, sous l'influence de l'eau ou de la vapeur surchauffée.

Recherche de l'acide vanadique ; par M. PHIPSON.

(Comptes rendus, t. LVII, p. 152.)

M. Beauvallet, en 1859, a constaté l'existence de l'acide vanadique dans l'argile de Gentilly : l'auteur a fait des recherches quantitatives sur diverses substances minérales pour y doser cet acide.

L'acide vanadique paraît exister toujours dans les minerais de fer contenant de l'acide phosphorique, en particulier une limonite rouge pourpre à poudre jaunâtre à laquelle M. Phipson a donné le nom de *vanadium-ochre* contient à p. 100 d'acide vanadique.

La note se termine par un procédé de préparation en grand de cet acide.

Sesquioxyde de fer altérable à l'aimant; par M. MALAGUTI.

(Comptes rendus, t. LV, p. 350.)

L'auteur remarque que les hydrates de sesquioxyde de fer formés dans diverses dissolutions ne donnent pas tous des peroxydes attirables à l'aimant : il étudie sans les expliquer les circonstances de leur formation.

Recherches sur les pétroles d'Amérique; par MM. PELOUZE et CAHOURS.

(Comptes rendus, t. LVII, p. 62.)

Série de carbures d'hydrogène dont le gaz des marais forme le premier terme.

Leur formule générale est $C^{12}H^{12+2}$.

MÉTÉORITES.

Nous n'insisterons pas sur les météorites, dont la plupart ont été décrites dans la Revue de géologie des années précédentes.

Nous devons avant tout mentionner l'ouvrage important que M. Gustave-Rose a récemment publié sur ce sujet : *Description, classification des météorites de la collection minéralogique de Berlin* (*).

Sur le fer météorique de Bahia; par MM. WOHLER et C. MARTIUS.

(Répertoire de chimie, p. 7.)

Cette masse, trouvée en 1784 dans le voisinage de Bemdego, près de Bahia (Brésil), a déjà été étudiée et analysée à plusieurs reprises.

D'après M. Martius, sa densité est de 7,69, et sa dureté égale

(*) *Beschreibung und einteilung der Meteoriten*, etc. (Extrait des mémoires de l'Académie des sciences de Berlin.)

celle de l'acier : le fer qui la constitue est passif. L'analyse a donné les nombres suivants :

Fer.	88,48
Nickel et cobalt.	8,59
Phosphore.	0,53
Schreibersite (phosphore de fer et de nickel).	0,37
Charbon et matière blanche.	0,07
Perte.	1,96
	<hr/> 100,00

*Analyse d'un fer météorique du Mexique; par MM. WOHLER
et C. MARTIUS.*

(*Répertoire de chimie*, p. 8.)

Cette masse, rapportée en Europe par M. Scheiden, pèse 2^k,750. Elle est fortement oxydée à la surface : les surfaces polies, attaquées par un acide faible, montrent de belles figures encadrées de schreibersite : densité, 7,85. Elle n'est pas passive.

Elle contient :

Fer.	89,92
Nickel et cobalt.	9,51
Phosphore.	0,20
Schreibersite.	0,06
Charbon et matière blanche.	0,24
	<hr/> 99,93

*Présence du quartz cristallisé dans un fer météorique
de Xiquipiko au Mexique; par M. G. ROSE.*

(*Poggendorf Annalen*, t. CXIII, p. 164.)

Dans un de ces échantillons, l'auteur a découvert de petites aiguilles hexagonales d'un tiers de ligne de grosseur, avec la pyramide au sommet; des mesures d'angles ont montré les formes du quartz. Quelques réactions chimiques ont confirmé ces observations.

Pierre météorique de Chassigny, analysée par M. DAMOUR.

(*Comptes rendus*, t. LV, p. 591.)

Cette météorite, analysée déjà par Vauquelin (premier volume des *Annales de chimie et de physique*), présente la composition du périclase. Les quantités d'oxygène de la silice, d'une part, de la ma-

gnésie et de l'oxyde ferreux, d'autre part, donnent le rapport exact 1 : 1. C'est spécialement à l'espèce *hyalosidérile* qu'on doit rapporter cette météorite.

Fer chromé d'une météorite; par M. SHEPARD.

(*Monatsschrift*, p. 97, 1860.)

M. Shepard a signalé du fer chromé dans une météorite tombée avec beaucoup d'autres le 1^{er} mai 1860 aux environs de New-Corcord, Ohio.

DIVERS.

Du rôle de la per-solidification en géologie; par M. FOURNET.

(*Comptes rendus*, t. LIII, p. 179.)

La présence dans certaines roches de minéraux réfractaires empâtés dans des minéraux fusibles, et réciproquement, a depuis longtemps exercé la sagacité des géologues, des minéralogistes et des chimistes à cause de l'origine incontestablement contemporaine de ces formations. On rencontre, par exemple, l'amphigène infusible empâtant du pyroxène fusible, dans certaines laves, et les distensions, les lacérations des cristaux, les portions de laves qui comblent ces déchirures, prouvent bien que l'amphigène doit avoir été mou en même temps que la lave.

Diverses explications ont été proposées : ainsi M. Daubrée avait admis que, sous l'influence de l'eau mère que ces roches renfermaient encore à une température élevée, de même que les laves, les silicates peuvent cristalliser dans une succession souvent opposée à l'ordre de fusibilité. M. Fournet, dans ce mémoire, indique quelques rapprochements qui le conduisent à une interprétation différente de ces faits. Il observe que le point de fusion d'une substance ne coïncide avec son point de solidification que s'il n'y a pas cristallisation, c'est-à-dire formation, au moment du passage à l'état solide, d'un composé plus nettement défini que pendant l'état de fusion. La dévitrification des laitiers et des verres fournit un argument sérieux à l'auteur pour appuyer son assertion; on sait, en effet, que ces substances dévitrifiées, quelque formées d'une masse

primitivement fusible, deviennent très-réfractaires et ne se ramolissent plus avant de fondre comme le fait le verre dans son état ordinaire.

M. Fournet explique à l'aide de ces idées divers phénomènes géologiques, entre autres certaines épigénies comme l'étain en macles de feldspath du Cornonailles; il propose le nom de *persolidification* à ce phénomène, qui provient pour ainsi dire du dédoublement du point de fusion coïncidant d'ordinaire avec le point de solidification, de même qu'il avait proposé antérieurement le nom de *surfusion* dans l'interprétation de phénomènes analogues.

Présence de divers métaux alcalins dans certains calcaires ;
par MM. KIRCHOFF et BUNSEN.

(*Monatsh.*, p. 24, 1860.)

L'analyse spectrale montre que le calcaire silurien de Kugelbad, près Prague, le muschelkalk de Rohrbach, près Heidelberg, le calcaire liasique de Malsch, à Bade, la craie d'Angleterre présentent les réactions du sodium, du lithium, du potassium et du strontium, tandis que le marbre du granite d'Auerbach, le calcaire dévonien de Gérolstein, dans l'Eifel, le calcaire carbonifère de Planitz, en Saxe, le sechstein de Nordhausen, dans le Hares, le calcaire jurassique de Streitberg, en Franconie, ne présentent que le calcium, le sodium, le potassium et le lithium.

Présence de l'ozone dans la fluorite ; par M. SCHRÖTER.

(*Monatsh.*, p. 20, 1860.)

Le frottement développe dans la fluorite de Welsendorf l'odeur particulière de l'ozone; on y trouve aussi un peu de chlore. Schönbein avait aussi essayé cette fluorite et avait indiqué la présence du chlorure de calcium. Une fluorite de Fludengany, près de Joachinsthal, doit plutôt son odeur à de l'acide hypochloreux.

Recherches sur les quantités d'acide carbonique que la silice chasse, à haute température, des carbonates alcalins et conséquences relatives au poids atomique de la silice ; par M. Th. SCHNEIDER.

(*Annalen der Chemie und Pharmacie*, t. CXVI, p. 129.)

Des expériences très-soignées conduisent à des formules empiri-

ques assez simples, permettant, à la rigueur, de doser la silice; en outre, elles mettent en évidence la formation spontanée de certains silicates, dont la comparaison avec les minéraux naturels est intéressante.

Études sur la chimie analytique; par M. MITSCHERLICH.

(*Neungott*, p. 189, 1860.)

Observations utiles pour l'analyse en ce qui concerne la dissolution de divers minéraux dans les acides. Action de l'acide sulfurique et de l'acide chlorhydrique sur l'alunite, sur l'alumine et l'oxyde de fer calcinés, etc.

Sur des faits géologiques et minéralogiques nouveaux découverts dans les cinq grands départements volcaniques de la France; par M. Bertrand de LOM.

(*Comptes rendus*, t. LII, p. 458; t. LIII, p. 288.)

L'auteur fait une description détaillée des divers minéraux qu'il a rencontrés dans ces départements. Il cite particulièrement le grès de corindons de *Coupet*, près Langeac (Haute-Loire), une collection de péridots de couleurs graduées ou de dimensions remarquables, puis une série d'échantillons précieux ou rares, tels que l'or natif, lapis-lazuli, zircons, corindons, spinelles, sphène, plomb natif, etc.

L'examen approfondi de certaines roches y a fait reconnaître la présence d'une substance d'un vert foncé, jusqu'à présent peu observée, que M. Damour a reconnue comme étant l'*enstatite*. Ce minéral, mélangé en proportions diverses avec des pyroxènes, du péridot et du pléonaste, constitue une roche particulière dont l'aspect est assez variable. L'auteur ajoute que, parmi les minéraux recueillis dans ses études, il a découvert un corindon bleu du poids de 30 grammes, lequel constitue, dit-il, un des plus beaux *saphirs* de la joaillerie.

Recherches nouvelles sur la conservation des matériaux de construction et d'ornementation, par M. KOHLMANN.

(*Comptes rendus*, t. LVII, p. 244 et p. 758.)

L'auteur expose l'action des matières bitumineuses et de certains réactifs chimiques fondus sur les minéraux au point de vue de leur faculté d'imprégner ces substances. L'opale, par exemple, peut être injectée de brai et présenter les caractères physiques du quartz en-

fumé. Le spath d'Islande, après sa coloration par du brai, ne laisse pas passer le rayon ordinaire avec la même intensité que le rayon extraordinaire : c'est un véritable cas de dichroïsme artificiel observé par M. Babinet.

L'action de ces matières bitumineuses sur les marbres, l'arragonite, l'analcime, le spath fluor, etc., est relativement très-rapide et s'opère par une sorte de *cimentation*. Ce mode d'action a conduit l'auteur à essayer divers agents pour opérer des actions inverses : ainsi l'opale enfumée artificiellement se blanchit complètement par son contact avec du nitrate, du chlorate et du bichromate de potasse fondu. Le cristal de roche enfumé naturel s'y décolore également.

Profitant de ces infiltrations si complètes, M. Kuhlmann est parvenu à opérer des réactions chimiques, en particulier des désoxydations dans l'intérieur de certaines roches, par suite à modifier la couleur, mais sans jamais altérer la ténacité.

Ces expériences, dans leur ensemble, confirment l'assertion de certains minéralogistes sur la nature organique de matières colorantes d'un certain nombre de minéraux.

Dans un second mémoire (p. 758), l'auteur examine l'action des gaz sur les minéraux colorés. L'altération est toujours assez uniforme, ce qui montre une véritable porosité dans les substances essayées.

Ainsi les quartz enfumés, les améthystes, les topazes, les cornalines chauffées dans un courant d'oxygène se décolorent.

Le cyanogène agit comme réducteur énergique; il dépose du charbon dans les fissures des minéraux.

L'hydrogène réduit l'oxyde de fer et noircit les marbres et les agates qui lui devaient leur coloration.

Avec l'acide sulfhydrique, M. Kuhlmann a obtenu des épigénies comme dans ses travaux antérieurs.

Rapport sur deux mémoires de M. Domeiko.

(Comptes rendus, t. LVIII, p. 551.)

Ces mémoires comprennent une étude sur les aérolithes de Raltal et sur quelques minéraux du Chili.

Parmi ces derniers, on peut citer un oxychlorofodure de plomb contenant 10 p. 100 d'iode, quelques amalgames natifs et divers minéraux cuivreux.

Sur la carphasidérile du Groënland; analyse par M. PIKANI.

(Comptes rendus, t. LVIII, p. 242.)

Cette espèce, extrêmement rare, a été reconnue par M. Breithaupt. L'auteur discute la composition indiquée par le savant allemand, tout en reconnaissant l'identité de la substance qu'il a analysée avec l'échantillon primitif. Sa densité est 2,728; sa dureté 4. L'analyse a donné :

Acide sulfurique.	23,52
Peroxyde de fer.	48,00
Oxyde de manganèse.	traces.
Sable.	14,78
Gypse.	2,00
Res.	11,00
	<hr/>
	100,00

En déduisant le sable et le gypse, on est conduit à la formule



NOTE

SUR LE MODE DE CHARGEMENT DES HAUTS FOURNEAUX AU COKE,
DE M. MINARY.

Par M. H. RÉSAL, ingénieur des mines.

Le mode de chargement des hauts fourneaux au coke dû à M. Minary, ingénieur de la compagnie des forges de Franche-Comté, ayant subi une modification importante depuis la rédaction de la note de M. Jordan (*) où il en est fait mention, il m'a semblé qu'il ne serait pas hors de propos de revenir sur ce sujet.

La disposition à laquelle est arrivé M. Minary est la conséquence de la discussion des deux faits suivants :

1° La pente naturelle du talus d'éboulement du coke est de 45° .

2° La même pente pour le minerai en roche (oolithe inférieure ferrugineuse) qui constitue la grande masse du lit de fusion des fourneaux de Rans, varie entre 49° et 53° , soit en moyenne 51° .

Ces angles résultent de nombreuses observations faites avec le plus grand soin sur les tas de coke et de minerai de l'usine de Rans.

En supposant que dans le gueulard le niveau soit plan et horizontal, et de plus que l'on fasse une charge de minerai au moyen du wagon circulaire à fond composé de ventelles mobiles, mentionné par M. Jordan, le minerai prendra la forme d'un cône dont les génératrices feront avec la

(*) *Annales des mines*, t. VII.

verticale un angle de 39° . La charge de combustible succédant immédiatement à la précédente se disposera également en cône dont l'angle des génératrices avec la verticale sera de 45° .

Il résulte de là que l'on aura une plus grande épaisseur de combustible vers les bords du fourneau où se rassemblent d'ailleurs les plus gros fragments de minerai et de coke, qu'au centre où les menus se réunissent. On voit aussi que, dans le gueulard, les matières à élaborer peuvent être considérées comme se composant : 1° d'un noyau central, relativement peu chargé de carbone et peu perméable aux gaz résultant de la réduction ; 2° d'une zone annulaire à laquelle ce noyau passe insensiblement, riche en coke, formée de gros fragments, laissant entre eux ou au contact de la paroi de larges interstices par où les gaz s'échappent facilement ; d'où la nécessité d'augmenter outre mesure la proportion de combustible pour réduire le minerai de la partie centrale, tandis que la zone annulaire environnante renferme un excès de coke qui se brûle sans produire d'effet utile, la plus grande partie de la chaleur contenue dans les gaz n'étant pas employée à échauffer la masse.

C'est pour remédier à cet inconvénient que M. Minary a eu l'idée de placer dans le fourneau un cône creux en tôle *a*, Pl. III, fig. 21 et 22, d'un angle égal à 60° dont le sommet se trouve un peu en contre-bas du plan du gueulard, soutenu dans l'intérieur de la cuve par quatre bras également creux, ayant une section droite de forme lenticulaire de manière à former le moins possible d'obstacles à la répartition uniforme des matières autour de l'axe de l'appareil ; les gaz entrent dans le cône *a* (*) s'échappent par les bras *b* dans un carneau *c* qui entoure le gueulard, d'où ils se rendent aux foyers des chaudières. Il se forme dans la masse en contre-bas du

(*) Il faut concevoir par la pensée que l'on supprime de la figure le cône renversé *d*, sur lequel on reviendra un peu plus loin.

cône α , un cône vide renversé d'éboulement, sur la surface latérale duquel la proportion de combustible doit aller en augmentant à mesure que l'on s'approche du sommet, toujours en vertu du principe de la différence de pente d'éboulement du coke et du minerai. Ce dernier fait a été très-nettement mis en évidence par M. Minary en versant dans une caisse étroite et par une ouverture supérieure divisée en deux parties égales au moyen d'un biseau, un mélange de minerai et de coke réduits respectivement en petits fragments dont les volumes relatifs sont à peu près les mêmes que dans le fourneau; une glace sans tain formant l'une des parois longitudinales de la caisse a permis de voir l'arrangement des deux matières suivant les deux plans inclinés qui limitent leur forme extérieure.

Le but que se proposait M. Minary n'était donc pas atteint puisqu'il retombait dans un inconvénient contraire à celui qu'il voulait éviter, en rejetant les menus vers les bords et les gros fragments avec excès de coke vers le centre. Cependant il avait déjà réalisé un progrès au point de vue d'une meilleure utilisation du combustible, car au lieu de consommer une partie de coke pour 2,7 de minerai, il était parvenu à fondre 3 parties de minerai avec 1 partie de coke (*) dans le fourneau n° 1 de Rans, marchant en fonte blanche. Mais lors de ces expériences on a observé le fait suivant: Pendant une période de 24 à 28 heures on obtenait de la fonte blanche avec laitiers noirs, et pendant les 6 ou 8 heures suivantes, de la fonte grise avec laitiers gris, puis de la fonte blanche et ainsi de suite périodiquement. La transition s'effectuait ainsi qu'il suit :

(*) Ces proportions, qui au premier abord, paraissent anormales, s'expliquent par la faible teneur du lit de fusion qui ne dépasse pas 24 ou 25 p. 100.

Fonte grise.

Fonte truitée.

Fonte blanche chaude.

Fonte blanche froide vers la fin de sa production.

Fonte grise après un passage rapide par la fonte truitée, etc.

Voici de quelle manière ce fait est expliqué par M. Minary : La base du noyau central de la masse doit se réduire et se fondre plus rapidement que les parties adjacentes, en donnant de la fonte grise puisque ce noyau est très-riche en carbone et qu'il est fortement chauffé par les gaz qui traversent les interstices des gros fragments qui le constituent. Il doit, par suite, se former au-dessus du niveau des tuyères une excavation centrale dont la hauteur va en augmentant jusqu'à une certaine limite ; lorsque cette limite est atteinte, les parties latérales de la masse n'étant plus soutenues, s'éboulent, et sont réduites à leur tour en donnant de la fonte blanche par suite de leur faible teneur en combustible.

Cette explication étant admise, on voit qu'il faut avant tout éviter les causes d'éboulement naturel dans les fourneaux, en guidant convenablement le mouvement de la matière. C'est pour satisfaire à cette condition que M. Minary a adapté au cône distributeur *a* et suivant la même base un cône renversé en tôle *d* dont le demi-angle au sommet, égal à 30° , est inférieur au complément du plus petit angle d'éboulement du minerai et du coke. Pour laisser passer les gaz, on a pratiqué dans la tôle des ouvertures rectangulaires, masquées extérieurement par des plaques verticales, en vue d'éviter l'introduction de fragments de coke ou de minerai dans l'intérieur du cône.

Tel est le système que nous nous sommes proposé de décrire et qui, appliqué depuis les premiers jours de juin au fourneau n° 1 de Rans, a permis d'obtenir une régularité constante dans la production et la qualité des fontes blanches avec réduction de dépense en combustible.

Il nous reste maintenant à déterminer le rayon de la base ou la hauteur des deux cônes.

Soient R le rayon de la partie supérieure de la cuve, e la largeur de la zone annulaire comprise entre la base des cônes et la maçonnerie du gueulard ; cette largeur comme R est une donnée de la question, dépend de la grosseur des fragments du minerai et du coke que l'on emploie, et peut varier de 0^m.40 à 0^m.70 ; r le rayon de la circonférence qui divise la zone de chargement en deux zones concentriques de même surface.

Le mode de chargement le plus régulier serait celui pour lequel la zone partielle intérieure et la zone partielle extérieure alimenteraient exclusivement et respectivement le noyau central et la masse annulaire environnante de même section droite, dans lesquels on peut supposer que la masse totale comprise dans le fourneau est décomposée. Le problème ainsi posé ne paraît pas susceptible de solution, même en supposant que le fourneau ne renferme que des matières sablonneuses désignées sous le nom de *demi-fluides*. Mais il paraît évident que l'on arrivera sensiblement au but proposé en posant :

$$\frac{1}{2} \pi R^2 = \pi r^2 ;$$

d'où

$$2r = \sqrt{2R},$$

et le diamètre $2r$ sera le côté du quarré inscrit dans la section circulaire de la partie supérieure du gueulard.

Si l'on désigne maintenant par r' et r'' le rayon de la base des cônes et le rayon intérieur de la zone totale de chargement, on aura

$$\pi(r^2 - r'^2) = \pi(r''^2 - r^2),$$

$$r'' - r' = e,$$

d'où

$$r' = -\frac{e}{2} + \sqrt{r^2 - \frac{e^2}{4}} = -\frac{e}{2} + \sqrt{\frac{R^2}{2} - \frac{e^2}{4}},$$

$$r'' = \frac{e}{2} + \sqrt{r^2 - \frac{e^2}{4}} = \frac{e}{2} + \sqrt{\frac{R^2}{2} - \frac{e^2}{4}},$$

La hauteur $r'\sqrt{5}$ des cônes étant maintenant connue, on pourra fixer la proposition du plan de leur base commune, tracer les deux cercles de rayon r' et r'' et enfin donner à la forme intérieure du gueulard celle d'un tronc de cône ayant pour base inférieure le dernier de ces cercles et dont les génératrices feront un angle de 60° avec l'horizon.

Pour terminer nous dirons quelques mots de l'ingénieur système employé par M. Minary pour éviter une autre cause de dérangement des fourneaux, celle qui résulte des chargements à intervalles inégaux, ce qui a lieu principalement pour le service de nuit lorsque les ouvriers enclins au sommeil échappent à la surveillance incessante de leurs chefs. Le couvercle f du gueulard (*fig. 21*) est toujours à garniture hydraulique, mais il est muni d'une charnière; on le soulève en faisant tourner une manivelle m sur l'arbre de laquelle se trouve une vis v engrenant avec une roue dentée montée sur l'axe de la charnière. Une autre vis u , à pas beaucoup plus petit, faisant corps avec le même arbre se trouve dans le voisinage de la manivelle, et engrène avec un secteur denté ayant un axe horizontal au delà duquel il se prolonge sous la forme d'une tige t (*fig. 23*.) En soulevant le couvercle du gueulard, la tige t pousse de la droite vers la gauche l'appendice g d'une pièce mobile autour d'un axe horizontal p , et dont la surface supérieure plane et horizontale s'adaptait exactement avec la face inférieure d'une autre pièce q ; cette pièce q est retenue vers son extrémité gauche par un ressort à boudin r , et tourne autour d'un axe o qui la traverse vers son extrémité droite. Lorsque la tige se dégage pour passer de l'autre côté de l'appendice g , la pièce q qui avait tourné d'un certain angle de la gauche vers la droite

revient brusquement à sa position naturelle et horizontale, par l'effet du ressort *r*. Il en est de même lorsqu'en abaissant le couvercle, la tige *t*, après avoir pressé de la gauche vers la droite l'appendice *g*, s'en sépare pour reprendre la position indiquée sur la figure. Chaque fois que la pièce *q* reprend ainsi brusquement sa position horizontale, un petit marteau *s* qui fait corps avec elle, et dont la tige est une lame d'acier, frappe un coup sec sur un piston horizontal qui revient ensuite immédiatement vers la droite par l'effet d'un petit ressort à boudin *i* placé dans sa longueur.

Les empreintes du poinçon sont recueillies par un cadran en carton monté à frottement sur l'axe des aiguilles des heures d'un mouvement d'horlogerie et divisé en heures et quarts d'heures. L'époque de chaque chargement du wagon de minéral et un wagon de coke se trouve ainsi indiquée sur le cadran par quatre empreintes successives correspondant à deux gouverneurs et deux bruciers du gueulard, et l'on peut en même temps se rendre compte de la durée des différentes parties de l'opération. Tout le système que l'on vient de décrire est renfermé dans un placard en tôle, dont le couvercle porte à son tour les ouvriers qui travaillent au gueulard reçoivent les instructions ou sont soumis à des retenues, selon que le chargement ou non une régularité continuelle dans le chargement.

Pour éviter les effets de l'usage de charbon sur l'économie animale, M. Meny a fait une prise de gaz à l'intérieur en contre-bas du gueulard, au moyen d'un tube vertical surmonté d'une pièce mobile qui se soulevait au-dessus du gueulard par le mouvement continu de l'air aspiré, afin que l'on brève ou que l'on prolonge le séjour de l'air dans le tuyau. On enflamme une fois par semaine, à l'aide d'une allumette accidentelle, les gaz qui s'accumulent au bout du tube, et on se débarrasse de la sorte de l'air inflammable qui se trouve dans chaque fois que la descente.

NOTE**SUR LA DÉTERMINATION DU NOMBRE DE PASSAGERS À ADMETTRE
SUR LES BATEAUX.****M KLEITZ, inspecteur général des ponts et chaussées.**

Le nombre maximum de passagers à admettre sur un bateau, et leur répartition dans les divers compartiments, doivent être réglés de manière que, par leur déplacement, ils ne puissent imprimer au pont une inclinaison qui dépasse une certaine limite.

La détermination rigoureuse de ce nombre maximum exigerait l'étude de la question de l'oscillation d'un corps flottant, par l'effet du déplacement plus ou moins brusque d'une partie de son poids; mais en attendant qu'on ait la solution pratique de ce problème d'équilibre dynamique, on peut se proposer de chercher l'inclinaison du bateau dans le nouvel équilibre statique correspondant à ce déplacement; on pourra ainsi déterminer le nombre des passagers qui, par le plus fort déplacement que comportent les dispositions du bateau, lui imprimeraient une inclinaison d'équilibre maximum, à laquelle on assignerait une valeur moindre que celle qui serait réellement périlleuse. Ce sera un moyen d'expérimentation facile pour fixer le chargement maximum d'un bateau et, au besoin, sa répartition.

ÉQUILIBRE STATIQUE.

Je suppose un bateau de forme quelconque dont je désignerai le poids propre (*équipage, lest et combustible compris*) par P , et le poids de son chargement additionnel par Π :

Je rapporterai les points d'application des forces qui tiennent le bateau en équilibre au plan de flottaison AA_1 , correspondant au poids $(P + \Pi)$, et à la verticale OH passant par le milieu de la largeur AA_1 (Pl. IV, fig. 1).

Dans cette position, le centre de gravité D du poids $(P + \Pi)$ se trouvera sur la même verticale que le point d'application de la résultante des pressions de l'eau, lequel n'est autre que le centre de gravité C du volume d'eau déplacée, ou le centre de carène.

Désignons :

Les coordonnées du poids P , par a et b ;

Celles du poids Π , par ξ et ζ ;

Celles de la résultante de $(P + \Pi)$, par x et z ;

Celles du point C , par x et y .

On aura, dans l'état initial du bateau :

$$(1) \quad \begin{cases} (P + \Pi)x = Pa + \Pi\xi \\ (P + \Pi)z = Pb + \Pi\zeta. \end{cases}$$

Supposons maintenant qu'une partie du poids Π , désignée par p , soit portée d'un point M ayant pour coordonnées d et h , en un point M_1 ayant pour coordonnées d_1 et h_1 , et que par suite de ce déplacement le bateau prenne une inclinaison α ; cherchons les conditions du nouvel équilibre.

Dans cette position, les poids P et Π agiront perpendiculairement au nouveau plan de flottaison BIB_1 . Le poids du bateau n'étant pas changé, le volume d'eau déplacée restera constant et les surfaces AIB et IA_1B_1 seront égales.

Les moments du poids $(P + \Pi)$ du bateau et du poids de l'eau déplacée seront égaux et de signes contraires.

On peut pendre ces moments par rapport à une ligne quelconque perpendiculaire à la section représentée par la figure, et, pour fixer les idées, je supposerai que ce soit par rapport à la ligne projetée en O , dont la position dans le bateau est bien déterminée.

Le moment du poids d'eau BFB₁ est égal au moment de AFA₁, agissant de gauche à droite, diminué du moment de ABI, agissant dans le même sens, et augmenté du moment de A₁B₁I, agissant en sens contraire. La somme de ces moments est donc égale à celle du poids AIA₁F, moins la somme des moments des poids égaux correspondant aux volumes ABI et IB₁A. En désignant par k le poids de l'un des prismes AIB, pour une longueur AL du bateau, chacun de ces poids, pour le bateau entier, sera représenté par ΣALk . Les pressions de l'eau donnent lieu à des moments égaux et opposés à ceux que je viens de définir.

On voit ainsi que les forces appliquées au bateau forment trois couples : 1° un couple de deux forces ($P + \Pi$) appliquées en D et C; 2° un couple de deux forces p , appliquées aux points M et M₁; 3° un couple de deux forces ΣALk , appliquées aux centres de gravité des volumes correspondant à AIB et A₁IB₁.

Je désigne par m et n les projections sur les plans AA₁ et OH de la distance variable qui, dans chaque section transversale, sépare les deux centres de gravité des deux prismes opposés ΣALk . Les projections de la distance MM₁ sont d'ailleurs ($d_1 - d$) et $h_1 - h$. Par abréviation je les désigne par Δd et Δh , qui représenteront les déplacements que le poids p aura reçus suivant OA et suivant OH. Quant à la distance DC, dont la projection sur OA est nulle, elle est égale à $(z + y)$.

La condition du nouvel équilibre s'exprime donc par l'équation suivante :

$$(P + \Pi)(z + y)\sin\alpha + p(\Delta h\sin\alpha + \Delta d\cos\alpha) - \Sigma ALk'n\sin\alpha + m\cos\alpha = 0,$$

et en divisant par $\sin\alpha$, et en mettant pour $(P + \Pi)$ sa valeur (1), on a :

$$(2) \quad P(b + y) + H(z + y) + p(\Delta h + \frac{\Delta d}{\tan\alpha}) = \Sigma ALk \left(n + \frac{m}{\tan\alpha} \right).$$

Pour simplifier encore, je pose :

$$(3) \quad \left(\Delta h + \frac{\Delta d}{\tan \alpha} \right) = \mathfrak{O} \quad \text{et} \quad \Sigma \Delta L k \left(n + \frac{m}{\tan \alpha} \right) = \mathfrak{M}.$$

J'écris donc l'équation d'équilibre ainsi :

$$(4) \quad P(b - y) + H(\zeta + y) + p\mathfrak{O} = \mathfrak{M}.$$

Pour un autre déplacement d'un poids p_1 , caractérisé par une autre valeur D_1 et donnant une seconde valeur \mathfrak{M}_1 , l'équation serait :

$$P(b + y) + H(\zeta + y) + p_1\mathfrak{O}_1 = \mathfrak{M}_1,$$

et en combinant cette équation avec la précédente, on a :

$$(5) \quad p_1\mathfrak{O}_1 - p\mathfrak{O} = \mathfrak{M}_1 - \mathfrak{M}.$$

Nous verrons tout à l'heure que la quantité \mathfrak{M} varie peu avec l'inclinaison α ; de sorte que dans un bateau quelconque, dont le poids total est constant, le produit pD varie également très-peu avec cette inclinaison. Nous appellerons cette quantité moment de déversement.

Si les murailles du bateau sont parallèles dans l'étendue de la plus grande oscillation, on peut facilement exprimer la valeur de la quantité \mathfrak{M} . Dans ce cas, l'axe de rotation I se confond avec le milieu O de la largeur AB (Pl. IV, *Fig. 2*).

Je désigne par l la demi-largeur OB , et par ΔL l'élément de longueur applicable à cette largeur. Les projections sur AB et FH de la distance des centres de gravité des triangles AOA_1 et BOB_1 , étant égales à $\frac{4}{3}l$ et à $\frac{2}{3}l \tan \alpha$, et la surface de chaque triangle étant égale à $\frac{1}{2}l^2 \tan \alpha$, l'élément de \mathfrak{M} correspondant au prisme d'une longueur ΔL , aura pour valeur :

$$1000^3 \times \frac{1}{2} l^3 \tan \alpha \left(\frac{2}{3} l \tan \alpha + \frac{4}{3} \frac{l}{\tan \alpha} \right) \Delta L$$

et en réduisant :

$$(6) \quad \mathcal{M} = \frac{1000}{3} \Sigma l^3 \Delta L (2 + \tan^2 \alpha).$$

La valeur de $\tan \alpha$ étant au plus égale à 0,20, et celle de $\tan^2 \alpha$ égale à 0,04, on voit que, lorsque les murailles du bateau sont verticales (le bateau étant droit), la quantité \mathcal{M} est sensiblement constante et égale au moment d'inertie de la moitié de la section de flottaison, multipliée par le poids d'un mètre cube d'eau.

Dans ce cas, ce moment d'inertie pourrait être calculé directement.

Supposons, par exemple, la section de flottaison composée d'une partie rectangulaire comprise entre deux pointes à contours paraboliques, on aurait, en désignant par L la longueur totale de la section et par λL la longueur totale de l'avant et de l'arrière :

$$\Sigma l^3 \Delta L = L l^3 \left(1 - \lambda + \frac{16}{35} \lambda \right) = L l^3 \left(1 - \frac{19}{35} \lambda \right).$$

Si l'avant et l'arrière étaient triangulaires, on aurait :

$$\Sigma l^3 \Delta L = L l^3 \left(1 - \lambda + \frac{1}{4} \lambda \right) = L l^3 \left(1 - \frac{3}{4} \lambda \right).$$

Mais il n'y a pas à s'arrêter à ces calculs, les expériences qu'on fera sur le bateau permettant de s'en dispenser.

En effet, ces expériences consisteront à opérer, sur le bateau, des déplacements des poids, et à observer, pour chaque déplacement, l'inclinaison correspondante du bateau. En ramenant ces déplacements à l'état initial du bateau, c'est-à-dire en ajoutant (avec les signes conve-

nables) les produits successifs des poids déplacés par les projections des déplacements correspondants, sur les plans coordonnés, on aura, par ces observations, des groupes de valeurs conjuguées :

$$[p_i, (p_i \Delta h_i), p_i \Delta d_i, \tan \alpha_i],$$

et chaque groupe donnera la valeur correspondante de :

$$p_i \odot_i.$$

Supposons qu'on fasse trois observations qui donneront :

$$\text{Pour } \tan \alpha_1. p_1 \odot_1$$

$$\text{Pour } \tan \alpha_2. p_2 \odot_2$$

$$\text{Pour } \tan \alpha_3. p_3 \odot_3.$$

Ces valeurs successives de $p_1 \odot_1$, $p_2 \odot_2$ et $p_3 \odot_3$ présenteront en général de faibles différences et, par une construction graphique, on pourra déterminer assez exactement la valeur du moment de déversement $p_0 \odot_0$ correspondant à l'angle θ qu'on adoptera pour la plus grande inclinaison qu'il soit prudent d'admettre.

Ce résultat étant obtenu, on en déduira immédiatement quel serait le moment de déversement $p'_0 \odot'_0$ pour la même inclinaison-limite θ et pour un autre poids Π' qu'on ajouterait au poids permanent P du bateau.

En effet, reprenons l'équation (4) et appliquons-la d'abord au cas où l'angle α aurait la valeur θ , avec le poids additionnel Π . Elle donnera :

$$(7) \quad P(b + y) + \Pi x + \Pi y + p_0 \odot_0 = M_0.$$

Supposons maintenant qu'on enlève du bateau le poids Π , dont le point d'application avait pour coordonnées ξ et ζ , et qu'on y mette le poids Π' dont le centre de gravité a pour coordonnées ξ' et ζ' .

Avec ce nouveau chargement le bateau est censé avoir son plan méridien principal dans la même position qu'avec le chargement d'épreuve II, avant les déplacements partiels qu'on y a opérés.

Le nouveau plan de flottaison tracera donc, dans une section transversale quelconque du bateau, une ligne A'B' parallèle à celle AB qui marquait le plan de flottaison initial au commencement des expériences (*fig. 3*).

Appelons ϵ l'intervalle qui sépare ces deux plans, ou bien l'enfoncement du bateau correspondant au poids $(\Pi' - \Pi)$.

L'ordonnée du nouveau centre de carène C', par rapport au nouveau plan de flottaison, sera donnée par l'équation :

$$(P + \Pi')y' = (P + \Pi)(y + \epsilon) + (\Pi' - \Pi)\frac{1}{2}\epsilon.$$

Par rapport au nouveau plan de flottaison, l'ordonnée du poids P est $(b - \epsilon)$ et celui de Π' est $(\zeta' - \epsilon)$. De sorte que l'ordonnée z' du nouveau centre de gravité du poids $(P + \Pi')$, par rapport au nouveau plan de flottaison, sera donnée par l'équation :

$$(P + \Pi')z' = P(b - \epsilon) + \Pi'(\zeta' - \epsilon).$$

Cela posé, soit p' le poids qui, étant déplacé des quantités $\Delta h'$ et $\Delta d'$, dans les nouvelles conditions du bateau, lui imprimerait l'inclinaison θ .

En se reportant à la manière dont l'équation (2) a été obtenue, on aura d'abord :

$$(P + \Pi')(z' + y')\sin\theta + p'(\Delta h'\sin\alpha + \Delta d'\cos\theta) - \Sigma \Delta LK(n'\sin\theta + m'\cos\theta).$$

Et en substituant les valeurs trouvées ci-dessus pour $(z'$ et $y')$:

$$(8) \quad P(b + y) + \Pi y + \Pi \zeta' - \Pi' - \Pi \frac{\epsilon}{2} + p'_0 \mathcal{O}'_0 = \mathcal{M}_0.$$

En retranchant l'équation (7) de la précédente, on a :

$$(9) \quad \Pi'z' - \Pi z - (\Pi' - \Pi) \frac{\epsilon}{2} + p'_0 \omega'_0 - p_0 \omega_0 = \mathcal{M}'_\theta - \mathcal{M}_\theta$$

Or, pour la même inclinaison θ , il est évident que le faible enfoncement ϵ ne peut sensiblement modifier le moment \mathcal{M}_θ , et que la différence $\mathcal{M}'_\theta - \mathcal{M}_\theta$ est extrêmement petite.

Donc on a, en la négligeant :

$$(10) \quad p'_0 \omega'_0 = p_0 \omega_0 + \Pi z - \Pi' z' + (\Pi' - \Pi) \frac{\epsilon}{2}.$$

Il suffit par conséquent de connaître la position des centres de gravité des poids Π et Π' , lorsque le bateau est droit (ou, plus généralement, lorsque son plan méridien principal a la même direction), pour qu'on puisse immédiatement déterminer pour l'angle-limite θ , le moment de déversement correspondant au chargement maximum Π' , lorsque ce moment correspondant au chargement Π sera connu.

Désignons, le poids maximum des voyageurs à admettre sur le pont, par π' ;

Le poids maximum des voyageurs à admettre dans les salles basses, par π'' ;

Le poids maximum des marchandises à placer sur le pont, par π''' ;

Et les ordonnées de ces poids relativement au plan de flottaison, à l'origine des expériences, par $v'v''v'''$.

On aura d'abord :

$$(11) \quad \Pi'z' = \pi'v' + \pi''v'' + \pi'''v'''.$$

Quant à l'enfoncement ϵ , il est facile à déterminer, et l'on déduira immédiatement la valeur $(p'_0 \omega'_0)$ de l'équation (10).

Supposons enfin que les plus forts déplacements possibles des poids π' et π'' des voyageurs soient $(\Delta h', \Delta d')$ et $(\Delta h'', \Delta d'')$, nous aurons l'équation :

$$(12) \quad \pi' \left(\Delta h'' + \frac{\Delta d'}{\tan \theta} \right) + \pi'' \left(\Delta h'' + \frac{\Delta d''}{\tan \alpha} \right) = p_0 Q_0 + \Pi \zeta - \Pi' \zeta' + \\ + (\Pi' - \Pi) \frac{1}{2} \varepsilon.$$

Cette équation montre que lorsque le chargement maximum du bateau en service diffère notablement de celui des expériences, on commettrait une erreur sérieuse en appliquant à la détermination des poids maxima des voyageurs, seulement le premier terme du second membre de cette équation, sans avoir égard à la différence entre le chargement en service et celui des expériences. Comme d'ailleurs le terme $\Pi' \zeta'$ augmente proportionnellement à la hauteur à laquelle les voyageurs sont placés au-dessus du plan de flottaison, il importe de tenir compte de cette circonstance.

Il conviendra de donner à π' la valeur correspondant au nombre de voyageurs qu'il est possible de placer sur le pont, et de calculer ensuite π'' de manière à satisfaire à l'équation (12), en ayant, bien entendu, égard à la relation (11).

ÉQUILIBRE DYNAMIQUE.

Par la considération des trois couples de forces $(P + \Pi)$, p et $\Sigma \Delta L k$, qui sollicitent le bateau dans toutes ses positions, on peut exprimer le travail de ces forces depuis l'état initial jusqu'à une inclinaison quelconque $\tan \alpha$ (fig. 4).

A l'origine du mouvement, lorsque le bateau est droit, les deux points d'application des forces du couple $(P + \Pi)$ sont éloignés, dans le sens de la verticale, à une distance $(z + y)$. Lorsque le bateau a l'inclinaison $\tan \alpha$, la projection de cette distance sur la verticale est égale à $(z + y) \cos \alpha$. Donc le travail du couple dont il s'agit, depuis l'origine jusqu'à l'inclinaison $\tan \alpha$, lequel travail est positif, est égal à

$$(P + \Pi)(z + y)(1 - \cos \alpha).$$

La projection M_1Q (*fig. 5*) de la distance MM_1 du déplacement du poids p , sur la nouvelle direction de la pesanteur, est égale à

$$\Delta h \cos \alpha - \Delta d \sin \alpha.$$

De sorte que le travail du couple p est exprimé par

$$p(\Delta h - \Delta h \cos \alpha + \Delta d \sin \alpha).$$

Cherchons maintenant le travail du couple formé par les poids k des deux prismes triangulaires AIA_1 et BIB_1 ayant une longueur ΔL (*fig. 6*).

Les projections de la distance entre les centres de gravité C et G_1 sur les plans coordonnés étant désignées par m et n , la projection de cette même distance sur la nouvelle direction de la gravité, est égale à

$$GP + G_1P_1 = SQ + P_1G_1 - SR = (m \sin \alpha - n \cos \alpha).$$

Je désigne cette projection par

$$\lambda = m \sin \alpha - n \cos \alpha.$$

Le travail du couple (K), pour un élément de longueur ΔL et pour une inclinaison α (travail négatif pour les pressions de l'eau) sera :

$$-\Delta L \cdot k \lambda = -\Delta L \cdot k(m \sin \alpha - n \cos \alpha).$$

Les valeurs de k , m et n sont des fonctions de α , dépendant de la forme du bateau.

Le travail total des trois couples de forces, depuis l'origine du mouvement jusqu'à une inclinaison quelconque α , aura pour expression :

$$(P + \Pi)(x + y)(1 - \cos \alpha) + p \Delta h (1 - \cos \alpha) + p \Delta d \sin \alpha - \Sigma \Delta L \cdot k \lambda,$$

et en désignant $(P + \Pi)(x + y)$ par M , et le travail dont il

s'agit par T , nous aurons :

$$(13) \quad T = (M + p\Delta h)(1 - \cos \alpha) + p\Delta d \sin \alpha - \Sigma \Delta L \cdot k\lambda.$$

Par la démonstration détaillée de l'expression $-\Sigma \Delta L \cdot K\lambda$ du travail des pressions de l'eau, on trouve la relation qui existe entre ce travail et le moment (\mathcal{M}) de l'équation (4) de l'équilibre statique.

Désignons par $2l$ la largeur, variable avec l'inclinaison α , du bateau à la flottaison, dans la section correspondant à la longueur ΔL (fig. 7).

Le poids k de l'un des deux prismes A_1A_2 et B_1B_2 , sera exprimé par l'intégrale définie :

$$k = \frac{1000}{2} \int_0^\alpha l^2 d\alpha.$$

L'élément dK de ce poids correspondant à la largeur dont l'inclinaison est donnée par un angle quelconque ϵ , sera égal à

$$dk = \frac{1000}{2} l^2 d\epsilon.$$

Pendant le mouvement du bateau, la pression égale à ce poids élémentaire a travaillé depuis le moment où la ligne MN (qu'on peut appeler le rayon vecteur de dk) a coïncidé avec la flottaison, jusqu'au moment où celle-ci est venue en A_1B_1 . Ce travail est le même que si, après avoir placé le rayon vecteur du poids dk sur A_1B_1 , on le faisait tourner jusqu'à la position MN , et que dans chaque position intermédiaire la force restât perpendiculaire à A_1B_1 . Lorsque, dans ce mouvement, le rayon vecteur forme avec A_1B_1 l'inclinaison quelconque $(\alpha - \epsilon)$, la projection de la force sur la trajectoire parcourue par son point d'application, laquelle est normale au rayon vecteur, a pour valeur $dk \cos (\alpha - \epsilon)$. Or si l'on considère le couple élémentaire des forces dk , dont

les points d'application sur le rayon vecteur sont espacés de $\frac{4}{3} l$, la somme des chemins parcourus par les points d'application des deux forces du couple sera $\frac{4}{3} l d (\alpha - \varepsilon)$, et par conséquent le travail élémentaire ou couple sera :

$$- \frac{4}{3} d k l \cos (\alpha - \varepsilon) d (\alpha - \varepsilon).$$

Le travail de ce couple dK , dans le mouvement de $A_1 B_1$ à MN , sera :

$$- \frac{4}{3} d k l \int_0^{\alpha - \varepsilon} \cos (\alpha - \varepsilon) d (\alpha - \varepsilon) = - \frac{4}{3} d k . l \sin (\alpha - \varepsilon).$$

Pour tous les éléments dK compris entre le plan AB et un plan de flottaison quelconque $A_1 B_1$, le travail total sera par conséquent :

$$- \int_0^{\alpha} d k l \sin (\alpha - \varepsilon) = - \frac{2}{3} 1000 \int_0^{\alpha} l^2 \sin (\alpha - \varepsilon) d \varepsilon.$$

En développant $\sin (\alpha - \varepsilon)$ et en considérant que, dans cette intégrale, α est une constante qui indique la limite de l'intégration, on a pour le travail total :

$$- \frac{2}{3} 1000 (\sin \alpha \int_0^{\alpha} l^2 \cos \varepsilon d \varepsilon - \cos \alpha \int_0^{\alpha} l^2 \sin \varepsilon d \varepsilon).$$

Maintenant, si nous cherchons les projections sur les lignes AB et OH de la distance qui sépare les centres de gravité des deux forces $\int_0^{\alpha} d k$ du couple des résultantes des pressions des secteurs $A_1 A_2$ et $B_1 B_2$, nous aurons évidemment les relations :

$$(14) \quad \begin{cases} km = \int_0^\alpha dk \times \frac{4}{3} l \cos \epsilon = \frac{2}{3} 1000 \int_0^\alpha l^3 \cos \epsilon d\epsilon \\ kn = \int_0^\alpha dk \times \frac{4}{3} l \sin \epsilon = \frac{2}{3} 1000 \int_0^\alpha l^3 \sin \epsilon d\epsilon. \end{cases}$$

Par ces relations on voit que le travail du couple des pressions k , correspondant à une inclinaison α du plan de flottaison, et pour une longueur ΔL , est donnée par l'expression indiquée plus haut :

$$- \Delta L k (m \sin \alpha - n \cos \alpha)$$

ou par :

$$- \Delta L k \lambda.$$

De ces mêmes relations on déduit les deux égalités suivantes :

$$\frac{d(km)}{d\alpha} \sin \alpha - \frac{d(kn)}{d\alpha} \cos \alpha = 0$$

$$\frac{d(km)}{d\alpha} \cos \alpha + \frac{d(kn)}{d\alpha} \sin \alpha = \frac{2}{3} 1000 g.$$

m , n et l ont ici les valeurs correspondant à α .

En vertu de la première de ces équations, on a :

$$\frac{d(k\lambda)}{d\alpha} = \frac{d}{d\alpha} (km \sin \alpha - kn \cos \alpha) = k(m \cos \alpha + n \sin \alpha).$$

Or le moment désigné par \mathcal{M} , dans l'équation de l'équilibre statique, pour le bateau entier, étant égal, pour la longueur ΔL , à $k \left(n + \frac{m}{\tan \alpha} \right)$, il s'ensuit qu'on a :

$$\frac{d(k\lambda)}{d\alpha} = \Delta (\mathcal{M} \sin \alpha),$$

en désignant le moment $\mathcal{M} \sin \alpha$ pour l'élément de longueur par $\Delta (\mathcal{M} \sin \alpha)$.

Donc le travail des pressions, pour l'inclinaison (α), est encore égal, pour le bateau entier, à :

$$\Sigma AL \cdot K\lambda = \int_0^\alpha \mathcal{M} \sin \alpha d\alpha,$$

et l'équation (13) peut être écrite ainsi :

$$(15) \mathcal{E} = (\mathcal{M} + p\Delta h) (1 - \cos \alpha) + p\Delta d \sin \alpha \int_0^\alpha \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha d\alpha.$$

En négligeant la résistance de l'eau au déplacement du bateau, bien qu'en réalité elle ne soit pas négligeable, on pourra égaler le double de ce travail à la quantité de force vive acquise par le bateau. (Je suppose qu'on appelle, comme il est d'usage de le faire, quantité de force vive, le produit MV^2 et non $\frac{1}{2} MV^2$, ce qui serait plus rationnel.) Si l'on désigne par φ_0 la quantité de force vive transmise au bateau par le choc du poids déplacé p (c'est-à-dire par la destruction brusque de la vitesse de ce poids au moment où il arrive dans son nouvel emplacement), le travail total des forces mise en jeu par le déplacement de ce poids, jusqu'à ce que le plan de flottaison prenne l'inclinaison α , sera exprimé par la fonction suivante :

$$(16) \mathcal{E}_\alpha = (\mathcal{M} + p\Delta h) (1 - \cos \alpha) + p\Delta d \sin \alpha \int_0^\alpha \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha d\alpha + \frac{1}{2} \varphi_0.$$

Si dans cette expression on substitue pour $(\mathcal{M} + p\Delta h)$ la valeur déduite de l'équation d'équilibre statique et qui est égale à $\left(\mathcal{M}_0 - p\Delta d \frac{\cos \theta}{\sin \theta} \right)$, le travail correspondant à une inclinaison quelconque α , sera exprimé comme il suit :

$$\mathcal{E}_\alpha = \mathcal{M}_0 (1 - \cos \alpha) - \int_0^\alpha \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha d\alpha + p\Delta d \left(\sin \alpha - \frac{\cos \theta}{\sin \theta} (1 - \cos \alpha) \right) + \frac{1}{2} \varphi_0,$$

ou bien :

$$(17) \quad E_a = \mathcal{M} \theta (1 - \cos \alpha) - \int_0^\alpha \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha \, d\alpha + \frac{p\Delta d}{\sin \theta} [\cos(\alpha - \theta) - \cos \alpha] + \frac{1}{2} \varphi.$$

Si l'on détermine expérimentalement les moments de déversement que nous avons désignés par $(p\mathcal{D})$ en fonction de α , on pourra remplacer dans l'équation précédente les moments \mathcal{M} par les valeurs correspondantes de $(p\mathcal{D})$. En effet, on a :

$$\mathcal{M} = p\mathcal{D} + (\mathcal{P} + \Pi)(x + y) = (p\mathcal{D}) + \mathcal{M}.$$

La substitution de $(p\mathcal{D})$ à \mathcal{M} introduira donc dans le premier terme du second membre $+ \mathcal{M}(1 - \cos \alpha)$ et dans le second terme $- \mathcal{M}(1 - \cos \alpha)$, quantités qui se détruisent.

En égalant à zéro la différentielle du second membre de l'équation (16), on aura :

$$(\mathcal{M} + p\Delta h) \sin \alpha + p\Delta d \cos \alpha - \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha = 0.$$

Cette équation, divisée par $\sin \alpha$, est identique à celle qui donne l'inclinaison d'équilibre, ce qui est une vérification de l'exactitude de la relation (16), puisqu'on sait que le travail des forces, ou la quantité de forces vives devient un maximum lorsque le bateau passe par la position d'équilibre.

La quantité de force vive φ , transmise au bateau par le choc du poids p , peut être exprimée comme il suit :

Soient : v , la vitesse dont ce poids est animé au moment du choc, relativement au bateau dans la position inclinée qu'il a en cet instant ; q , la distance entre l'intersection du plan de flottaison initial (le bateau étant droit) avec le plan de flottaison au moment du choc, et la direction de la vitesse relative v . Je prends cette intersection pour axe de rotation en négligeant, dans l'évaluation des quantités de mouvement, celle relative à la translation de cet axe.

Les quantités de mouvement de rotation imprimées aux divers points du bateau sont telles, que l'intégrale de leurs moments, par rapport à l'axe de rotation, soit égale au moment de la quantité de mouvement des corps dont le poids est p , et dont la masse est $\frac{p}{g}$. En représentant par ω la vitesse angulaire correspondant à la quantité de mouvement de rotation imprimée au bateau, et en désignant par $\Sigma \delta m$ sa masse, et par $\Sigma \delta m r^2$ son moment d'inertie, par rapport à l'axe adopté, on a :

$$(\Sigma \delta m r^2) \omega = \frac{p}{g} v \cdot q$$

et

$$\omega = \frac{p}{h} \cdot \frac{v q}{\Sigma \delta m r^2}.$$

La quantité de force vive pour cette vitesse angulaire est égale à :

$$\Sigma \delta m r^2 \omega^2 = \varphi.$$

Donc on a :

$$\varphi = \frac{p^2}{g^2} \frac{v^2 q^2}{\Sigma \delta m r^2}.$$

La détermination exacte de la quantité φ serait à peu près impossible : non-seulement l'appréciation de la vitesse relative v ne peut qu'être très-incertaine, parce qu'elle exige une hypothèse sur la vitesse de rotation du bateau au moment du choc; mais encore le calcul du moment d'inertie du bateau $\Sigma \delta m r^2$ serait d'une complication extrême. Il faut donc se contenter nécessairement d'une grossière approximation pour l'évaluation de la quantité φ .

L'inclinaison extrême du bateau aura lieu lorsque le travail des forces sera nul. Cette inclinaison, étant désignée par η , sera donnée par l'équation :

$$(18) (M + p \Delta h) (1 - \cos \eta) + p \Delta d \sin \eta - \int_0^\eta M_x \sin \alpha d\alpha + \frac{1}{2} \varphi = 0.$$

En la mettant en regard de l'équation de l'équilibre statique :

$$(\mathcal{M} + p\Delta h) \sin \theta + p\Delta d \cos \theta - \mathcal{M}_\theta \sin \theta = 0$$

et en éliminant $(\mathcal{M} + p\Delta h)$, on a :

$$(19) \quad \frac{\int_0^\eta \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha d\alpha - p\Delta d \sin \eta - \frac{1}{2} \varphi}{1 - \cos \eta} = \frac{\mathcal{M}_\theta \sin \theta - p\Delta d \cos \theta}{\sin \theta}$$

ou bien :

$$(20) \quad \cos (\eta - \theta) - \cos \theta = \frac{\sin \theta}{p\Delta d} \left[\int_0^\eta \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha d\alpha - \right. \\ \left. - \mathcal{M}_\theta (1 - \cos \eta) - \frac{1}{2} \varphi \right].$$

On voit ainsi que l'angle $(\eta - \theta)$ sera plus grand ou plus petit que θ , c'est-à-dire que l'angle η sera plus grand ou plus petit que 2θ , suivant que la quantité entre parenthèse dans le second nombre, sera négative ou positive. Mais on se rend en même temps compte que l'angle η ne différera pas beaucoup du double de θ .

Rappelons encore que dans les équations (17), (18) et (19) on peut remplacer les moments \mathcal{M} par les moments de déversements correspondants ($p\omega$).

En négligeant le travail $\frac{1}{2} \varphi$ correspondant au choc des corps déplacés, on aura qu'à chercher le signe de la quantité

$$\left[\int_0^\eta \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha d\alpha - \mathcal{M}_\theta (1 - \cos \eta) \right]$$

pour savoir si η est plus petit ou plus grand que 2θ . On voit qu'il faut non-seulement que le moment \mathcal{M}_α (dont la valeur dépend principalement des largeurs z à la flottaison) croisse avec α , depuis 0 jusqu'à η , mais qu'il augmente plus vite entre θ et η qu'entre 0 et θ , pour que cette quantité soit positive et que η soit plus petit que 2θ . Si le moment

\mathcal{M}_α augmentait de 0 à θ , mais qu'il restât ensuite constant, la quantité ci-dessus serait négative et égale à :

$$\left[\int_0^\theta \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha d\alpha - \mathcal{M}_\theta (1 - \cos \theta) \right].$$

L'angle η serait alors plus grand que 2θ .

Supposons par exemple que dans l'étendue de l'oscillation, la largeur ($2l$) à la flottaison reste constante.

Dans ce cas on aura pour chaque section du bateau correspondant à la longueur ΔL :

$$km = \frac{2000}{3} l^3 \sin \alpha \quad kn = \frac{2000}{3} l^3 (1 - \cos \alpha)$$

$$k\lambda \text{ ou } \int_0^\alpha \mathcal{M} \sin \alpha d\alpha = km \sin \alpha - kn \cos \alpha = \frac{2000}{3} l^3 (1 - \cos \alpha)$$

$$\mathcal{M} \sin \alpha = \frac{2000}{3} l^3 \sin \alpha \quad \mathcal{M} = \frac{2000}{3} l^3,$$

$$\int_0^\eta \mathcal{M} \sin \alpha d\alpha = \frac{2000}{3} l^3 (1 - \cos \eta) = \mathcal{M}_\theta (1 - \cos \eta).$$

Par conséquent on a :

$$\cos(\eta - \theta) - \cos \theta = 0$$

et

$$\eta = 2\theta.$$

Supposons, en second lieu, que les parois du bateau soient verticales. Dans ce cas, nous avons déjà trouvé pour le moment \mathcal{M}_α et pour une longueur ΔL du bateau :

$$\mathcal{M}_\alpha = \frac{1000}{3} l^3 (2 + \tan^2 \alpha) = \frac{1000}{3} l^3 \left(\frac{1}{\cos^2 \alpha} + 1 \right).$$

D'où il résulte que

$$\begin{aligned} \int_0^\eta \mathcal{M}_\alpha \sin \alpha d\alpha &= \frac{1000}{3} \Sigma l^3 \left(\frac{1}{\cos \eta} - \cos \eta \right) = \\ &= \frac{1000}{3} \Sigma l^3 \left(\frac{1 - \cos^2 \eta}{\cos \eta} \right) \end{aligned}$$

et l'équation (19) devient :

$$\cos(\eta - \theta) - \cos \theta = \sin \theta \left[\frac{(1 - \cos \eta)(1 + \cos \eta)}{\cos \eta} - \left(\frac{1}{\cos^2 \theta} + 1 \right) (1 - \cos \eta) \right] \times \frac{1000 \Sigma l^2_0 \Delta L}{3 p \Delta d},$$

ou bien :

$$\cos(\eta - \theta) - \cos \theta = \sin \theta (1 - \cos \eta) \left[\frac{1}{\cos \eta} - \frac{1}{\cos^2 \theta} \right] \times \frac{1.000 \Sigma l^2_0 \Delta L}{3 p \Delta d}.$$

Cette équation est satisfaite par une valeur de η plus petite que 2θ . Pour la résoudre par tâtonnement, il suffirait de connaître le moment d'inertie $\Sigma l^2_0 \Delta L$ de la moitié de la section horizontale de flottaison.

Nous avons pris jusqu'ici pour plans coordonnés la section de flottaison lorsque le bateau est droit, et le plan normal à cette section et passant par son axe longitudinal. Les coordonnées des points d'application des forces ont été rapportées à ces plans, et les angles de rotation ont été mesurés à partir de la section de flottaison du bateau droit. L'application des formules que nous avons trouvées ne présente pas de difficultés; mais elle suppose qu'on détermine le moment de déversement ($p\Delta$) pour toutes les inclinaisons, jusqu'à la limite qu'elles doivent atteindre. Cependant il est clair qu'à l'aide des dessins du bateau on pourrait obtenir les valeurs de ce moment au delà des inclinaisons observées dans les expériences.

L'inclinaison θ , correspondant à l'équilibre statique, étant déterminée, si l'on voulait se rendre compte, d'après la forme du bateau, si l'inclinaison maximum η qui pourra se produire dans le mouvement oscillatoire du bateau, sera plus petite ou plus grande que le double de θ , il suffira d'examiner comment, dans les diverses sections transversales

du bateau, les largeurs de flottaison varient de part et d'autre du plan de flottaison correspondant à l'angle θ .

Considérons en effet le bateau dans cette position d'équilibre, par suite des déplacements de poids qu'on a supposés (fig. 8).

Le nouveau centre de gravité P des poids sera sur la même verticale que le centre de gravité Q du volume d'eau déplacé.

Concevons maintenant qu'on relève le bateau de manière à le remettre droit et qu'ensuite on l'abandonne à lui-même; la ligne de flottaison tracée sur le bateau oscillera autour de celle BB_1 , correspondant à la position d'équilibre. Dans ce mouvement il n'y aura à considérer que le travail de deux couples de forces : celui du couple des forces P égales au poids du bateau et appliquées aux points P et Q, celui du couple des poids variables des prismes que nous avons représentés par k . Si l'on désigne par y la distance PQ, le travail des poids sera égal à $-Py (1 - \cos \alpha)$ pendant que la ligne de flottaison se déplacera de MM_1 à BB_1 , et il sera égal à $+Py (1 - \cos \alpha')$ pendant que la ligne de flottaison se déplacera de BB_1 à $M'M'_1$. Quant au travail des poids k , il est égal, d'après ce qu'on a vu plus haut, à $+ \frac{2}{3} 1000 \int_0^\alpha l^2 \sin(\alpha - s) ds$, pendant que la ligne de flottaison se déplacera de MM_1 à BB_1 , et à $-\frac{2}{3} 1000 \int_0^{\alpha'} l^2 \sin(\alpha' - s) ds$ pendant qu'elle se déplacera de BB_1 à $M'M'_1$.

En conséquence si, au moment initial du mouvement, la ligne de flottaison est AA_1 , et que CC_1 soit celle correspondant à la limite d'inclinaison à laquelle le bateau s'arrêtera pour revenir en carrière, le travail accompli par toutes les forces dans le mouvement de AA_1 à CC_1 , sera égal à :

$$-Py(1 - \cos \theta) + Py(1 - \cos \theta') + \frac{2}{3} 1000 \int_0^\theta l^3 \sin(\theta - \epsilon) d\epsilon - \\ - \frac{2}{3} 1000 \int_0^{\theta'} l^3 \sin(\theta' - \epsilon') d\epsilon',$$

ou bien :

$$Py(\cos \theta - \cos \theta') + \frac{2}{3} 1000 \left[\int_0^\theta l^3 \sin(\theta - \epsilon) d\epsilon - \int_0^{\theta'} l^3 \sin(\theta' - \epsilon') d\epsilon' \right]$$

Ce travail est positif depuis l'origine du mouvement jusqu'à l'inclinaison extrême θ' pour laquelle il est nul.

Si les largeurs de flottaison l sont symétriquement distribuées de part et d'autre de la flottaison d'équilibre BB_1 , le travail est nul lorsque $\theta' = \theta$. Si entre BB_1 et CC_1 les largeurs varient de part et d'autre de BB_1 , de manière que, pour la même limite (θ' et θ), l'intégrale $\int_0^{\theta'} l^3 \sin(\theta' - \epsilon')$ soit plus

grande que l'intégrale $\int_0^\theta l^3 \sin(\theta - \epsilon) d\epsilon$, le travail est négatif lorsque $\theta' = \theta$, et par conséquent il devient nul pour un angle θ' plus petit que θ . Enfin si, pour θ' et θ , l'intégrale $\int_0^{\theta'} l^3 \sin(\theta' - \epsilon') d\epsilon'$, était plus petite que l'intégrale $\int_0^\theta l^3 \sin(\theta - \epsilon) d\epsilon$, le travail serait nul pour un angle θ' plus grand que θ .

Des recherches qui précèdent, on serait tenté de conclure que même en négligeant les effets de la destruction brusque de la vitesse avec laquelle le poids p est déplacé, l'inclinaison maximum (η) que le bateau prendra par suite de ce déplacement, approchera généralement d'être égale au double de l'inclinaison correspondant à l'équilibre statique, et que, si le bateau est construit de manière que le moment de déversement ($p\omega$) n'augmente plus après cette inclinaison, l'angle η sera certainement plus que double de θ . Mais il faut se rappeler qu'on a négligé la résistance de l'eau au déplacement du bateau, et il n'est pas douteux que cette résistance a pour effet de diminuer considérablement l'in-

clinaison maximum. En effet, si cette résistance n'existait pas, le bateau, après qu'il aurait pris cette inclinaison η dans l'oscillation directe, reviendrait, dans l'oscillation inverse, jusqu'à sa position de départ, d'où il recommencerait à s'incliner par une seconde oscillation directe qui atteindrait encore la même valeur η , et le bateau continuerait ces oscillations identiques de part et d'autre de l'inclinaison d'équilibre θ , sans jamais s'y arrêter. Or ce n'est pas ce qui a lieu en réalité, et à moins que le bateau n'eût pour section un demi-cercle ayant son centre au niveau du plan de flottaison, ce mouvement de roulis s'arrête après un petit nombre d'oscillations. Cette décroissance rapide de l'amplitude des oscillations prouve donc que si un bateau abandonné à lui-même doit s'incliner d'un angle θ pour arriver à sa position d'équilibre, il ne dépassera cette position que d'une fraction de l'angle $(\eta - \theta)$ qu'on trouverait en négligeant les résistances de l'eau. Supposons, par exemple, qu'au bout de quatre oscillations, le bateau ne s'incline plus que du quart de l'écart primitif (θ) de la position d'équilibre. On en déduirait par aperçu que, dans la première oscillation directe, l'inclinaison du bateau a dépassé la position d'équilibre d'environ 0,71 $(\eta - \theta)$; que dans l'oscillation le bateau s'est relevé au-dessus de cette position de $(0,71)^2 \theta$; que dans la seconde oscillation directe l'écart a été de $(0,71)^3 (\eta - \theta)$, et que dans l'oscillation inverse suivante, il a été de $(1,77)^4 \theta = 0,25 \theta$.

On arriverait donc à exagérer de beaucoup les inclinaisons maxima des bateaux en appliquant les formules trouvées ci-dessus, sans en corriger les résultats par des coefficients qu'il faudrait établir pour chaque bateau en observant, dans des oscillations d'expériences, les relations entre les inclinaisons maxima et celles d'équilibre.

Je terminerai cette note par l'application des formules de l'équilibre statique, aux expériences faites sur la *Mouche* n° 4, après sa reconstruction.

APPLICATION NUMÉRIQUE DES FORMULES DE L'ÉQUILIBRE STATIQUE.

La Mouche n° 4, après sa reconstruction, a été soumise aux expériences suivantes :

Le bateau a été chargé de 7.140 kilogrammes, savoir : 3.060 kilogrammes sur le pont et 4.080 kilogrammes dans les sables.

Le chargement a été réparti de manière que le bateau fût droit. En cet état, le pont était élevé à 1^m,04 au-dessus du plan de flottaison, et le plancher des salles à 0^m,01 en contre-bas du même plan.

L'enfoncement du bateau, sous ce poids de 7.140 kilogrammes, a été de 0^m,165, ce qui donne 0^m,01 d'enfoncement pour 430 kilogrammes de charge.

Le centre de gravité des 3.060 kilogrammes placés sur le pont était à 0^m,53 au-dessus de ce pont, soit à 1^m,56 au-dessus du plan de flottaison à charge. Celui du poids de 4.080 kilogrammes placé dans les salles était à 0^m,35 au-dessus du plancher, soit à 0^m,34 au-dessus du plan de flottaison.

Première observation. — Un poids de 510 kilogrammes, pris sur le pont, a abaissé de ($\Delta h_1 = -0^m,23$) et a été déplacé dans le sens du pont de $\Delta h_1 = 1^m,61$.

L'inclinaison a été de $\tan \alpha_1 = 0,045$.

De ces données on déduit :

$$p_1 Q_1 = \frac{510 \times (1,61 - 0,01035)}{0,045} = \frac{816}{0,045} = \dots\dots 18.133^{kgm}.$$

Deuxième observation. — Après ce premier déplacement un nouveau poids de 408 kilogrammes a été déplacé sur le pont, de manière que $\delta h_1 = +0^m,22$ et $\delta d_1 = 1^m,95$.

L'inclinaison observée a été de $\tan \alpha = 0^m,08$. On a :

$$p, \Delta h_1 = (-510 \times 0,23 + 408 \times 0,22) = -27,54$$

$$p, \Delta d_1 = (510 \times 1,61 + 408 \times 1,95) = 1616,60$$

$$p, \textcircled{D}_1 = \frac{-27,54 \times 0,08 + 1616,60}{0,08} = \frac{1615,40}{0,080} = 20,192^{\text{km}}$$

Troisième observation. — Un poids de 408 kilogrammes a été déplacé sur le pont de manière que $\delta h_2 = 0^{\text{m}},21$, $\delta d_2 = 1^{\text{m}},95$. En même temps un autre poids de 204 kilogrammes a été déplacé sur le pont, de manière que $\Delta h_2 = 0^{\text{m}},47$, $\Delta d_2 = 1^{\text{m}},95$. L'inclinaison a été $\text{tang } \alpha_2 = 0^{\text{m}},45$. On a :

$$p, \Delta h_2 = p, \Delta h_1 + 408 \times 0,21 + 204 \times 0,47 = 154^{\text{kgm}}$$

$$p, \Delta d_2 = p, \Delta d_1 + 612 \times 1,95 = 2810$$

$$p, \textcircled{D}_2 = \frac{154 \times 0,145 + 2,810}{0,145} = \frac{2,831}{0,145} = 19,524^{\text{km}}$$

Quatrième observation. — Un poids de 510 kilogrammes a été déplacé dans les salles $\delta h_3 = 0^{\text{m}},33$, $\delta d_3 = 1^{\text{m}},01$. $\text{tang } \alpha = 0^{\text{m}},192$.

$$p, \Delta h_3 = p, \Delta h_2 + 510 \times 0,35 = 332^{\text{kgm}},52$$

$$p, \Delta d_3 = p, \Delta d_2 + 510 \times 1,05 = 3345^{\text{kgm}},50$$

$$p, \textcircled{D}_3 = \frac{333 \times 0,192 + 3346}{0,192} = \frac{3,410}{0,192} = 17,760^{\text{km}}$$

Les résultats que nous venons d'obtenir montrent que le moment de déversement augmente entre les inclinaisons $0^{\text{m}},045$ et $0^{\text{m}},08$, mais que pour les inclinaisons plus fortes, ce moment va en décroissant. Cela tient à ce qu'on a établi sur les flancs du bateau des soufflages qui plongent seulement de quelques centimètres, lorsque le bateau est droit et à vide, et qui, avec le chargement de 7.140 kilogrammes, ont plongé d'environ $0^{\text{m}},20$. Il résulte de cette disposition qu'avec les inclinaisons de $0^{\text{m}},045$ et de $0^{\text{m}},08$, le soufflage relevé par le déversement du bateau était encore immergé, tandis qu'avec les inclinaisons de $0^{\text{m}},145$ et de $0^{\text{m}},192$, ce

même soufflage émergeait en entier, et que la ligne de flottaison se trouvait sur une paroi très-inclinée par rapport au plan principal du bateau. Ainsi la largeur de la section de flottaison diminue brusquement entre les inclinaisons $0^{\text{m}},08$ et $0^{\text{m}},145$, et dès lors le moment que j'ai désigné par π dans l'équation d'équilibre (4) diminue, bien que l'inclinaison augmente, comme cela est facile à comprendre. La disposition que l'on a donnée aux soufflages de la *Mouche* n° 4, afin de diminuer la résistance en marche, est donc très-vicieuse au point de vue de la stabilité, puisque le moment de renversement, qui devrait augmenter au fur et à mesure qu'on approche de la limite d'inclinaison, va au contraire en diminuant.

On s'assure, par une construction graphique, que les nombres trouvés pour les moments de déversement sont concordants, et l'on en conclut que, pour l'inclinaison-limite, que je suppose égale à $0^{\text{m}},20$, on a :

$$p_0 \odot_0 = 17,700^{\text{km}}.$$

Voyons maintenant combien on peut recevoir de voyageurs dans ce bateau.

Je suppose qu'on autorise 50 personnes sur le pont. Leur poids, à 70 kilogrammes, sera de 3.500 kilogrammes. Comme il existe au plus une quarantaine de places sur les bancs, il y aura au moins une dizaine de personnes qui seront debout. — J'admets qu'elles soient toutes debout, et que leur centre de gravité soit à $0^{\text{m}},90$ au-dessus du pont, soit à $1^{\text{m}},94$ au-dessus du plan de flottaison dans les expériences. Les voyageurs étant serrés les uns contre les autres, on donnera une valeur exagérée à leur déplacement moyen en l'estimant à $0^{\text{m}},40$.

On aura ainsi :

$$\pi' \odot'_0 = \frac{3,500 \times 1,94}{0,20} = 7000^{\text{km}}.$$

Faisons maintenant une hypothèse sur le nombre de personnes à admettre dans les salles, et supposons que ce soit 40. Leur poids sera égal à 2.800 kilogrammes. Si elles sont toutes debout, leur centre de gravité sera à 0^m,90 au-dessus du plancher, soit à 0^m,89 au-dessus du plan de flottaison. Leur déplacement moyen maximum peut être évalué à 0^m,50 et l'on aurait :

$$\pi'' \omega'' = \frac{2,800 \times 0,50}{0,20} = 7000^{\text{kgm}}.$$

On aurait donc, pour le premier membre de l'équation (13), 14.000 kilogrammes.

Si la valeur attribuée à π'' est exacte, on devra trouver le même nombre pour le second membre.

Cherchons ce que devient ce second nombre.

Le montant du poids de 7.140 kilogrammes, qui était π le bateau pendant les expériences, est :

$$\Pi = 3060^{\text{kg}} \times 1^{\text{m}},56 + 4080^{\text{kg}} \times 0^{\text{m}},34 = 6161^{\text{kgm}}.$$

Pour les poids des voyageurs, on a :

$$\Pi' = 3500^{\text{kg}} \times 1^{\text{m}},94 + 2800^{\text{kg}} \times 0^{\text{m}},89 = 9282^{\text{kgm}}.$$

$$\text{Différence.} = 3121^{\text{kgm}}.$$

La différence $\Pi - \Pi'$ étant de 840 kilogrammes, le bateau se relèvera de 0^m,02, de sorte que $(\Pi' - \Pi) \frac{1}{2\epsilon} = + 8^{\text{k}},60$, ce qui est à négliger. Il vient donc pour le second membre :

$$17,700^{\text{k}} - 3121^{\text{k}} = 14,579^{\text{kgm}}.$$

Ce nombre dépassant de 579^{kgm} celui trouvé pour le premier nombre, par suite de la valeur de 2.800 kilogrammes attribuée à π'' , on s'assure, par un tâtonnement facile, que la vraie valeur de π'' est de 2.970 kilogrammes.

En conséquence, pour que le poids des voyageurs, étant censé subir sans vitesse le plus fort déplacement que comportent les dispositions du bateau, et en les supposant tous debout, l'inclinaison du bateau ne dépasse pas $0^{\text{m}},20$, il faut qu'il y ait au plus cinquante personnes sur le pont et quarante-deux dans les salles.

En réalité, l'inclinaison maximum, pendant l'oscillation du bateau, serait beaucoup plus considérable, surtout si le mouvement se produisait brusquement. A la vérité nous avons exagéré les efforts du déplacement ou supposant tous les voyageurs debout, et leur poids moyen de 70 kilogrammes. Avec les bancs qui couvrent le pont, la plupart des passagers seront forcément assis et, s'il y avait cinquante personnes sur le pont, la moitié au moins ne pourrait pas se lever debout. Toutefois, il conviendra de n'admettre sur la *Mouche* n° 4, qu'un nombre de voyageurs moindre que celui déduit des formules de l'équilibre statique, avec l'inclinaison maximum de $0^{\text{m}},20$.

Lyon, le 24 octobre 1864.

Note au sujet de la détermination du plus grand nombre de voyageurs qui peuvent être admis avec sécurité sur les bateaux omnibus.

Par M. JONCHER, sous-ingénieur de la marine.

Considérons un corps flottant cylindrique dont la section ait une forme quelconque PLQ (fig. 1).

Soit PQ la flottaison lorsque le corps abandonné à lui-même est arrivé à sa position d'équilibre, G le centre de gravité du corps, C le centre de gravité de l'eau déplacée ou de la surface PLQ, point que nous appellerons centre de carène. Pour qu'il y ait équilibre, il est nécessaire que le point G et le point C soient sur une même verticale CGy.

Imaginons qu'on donne au corps flottant une inclinaison, tout en lui conservant le même déplacement d'eau. La flottaison deviant alors $P'Q'$ et la direction de la pesanteur est GK perpendiculaire à $P'Q'$; le centre de gravité G ne change pas, mais le centre de carène se transporte en C' . La poussée du liquide n'est plus alors directement opposée au poids du corps, et celui-ci ne peut être maintenu dans la position supposée qu'autant qu'on lui appliquera des forces étrangères. Ces forces doivent former un couple pour que le déplacement ne soit pas influencé par leur action. Nous allons chercher la valeur du moment de ce couple que nous désignerons par la lettre M .

Nous prendrons pour origine des coordonnées le point G et pour axe la ligne Cx , parallèle à la flottaison primitive PQ , et la ligne Cy , perpendiculaire à la première.

Abaissons du point G la perpendiculaire GH sur $C'M$, GH représente la poussée lorsque le corps est incliné de l'angle α . Soit δ la distance GH . Il est clair que le moment qu'il s'agit de déterminer a pour valeur le produit $P\delta$ (P étant le poids du corps flottant).

Soient x_1 et y_1 les coordonnées du point C' . La ligne $C'M$ qui passe par ce point, et qui fait avec l'axe des x un angle de $90^\circ + \alpha$, a pour équation :

$$y = \tan(90^\circ + \alpha) x + y_1 - \tan(90^\circ + \alpha) x_1$$

ou

$$y = -\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} x + y_1 + \frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} x_1.$$

La distance δ du point G à cette droite est (en appelant δ l'ordonnée CG du point G dont l'abscisse est nulle) :

$$\delta = \pm [(x_1 - y_1) \sin \alpha - x_1 \cos \alpha].$$

Par conséquent :

$$(1) \quad M = P\delta = P [(x_1 - y_1) \sin \alpha - x_1 \cos \alpha].$$

Sous cette forme il est difficile de se faire une idée des variations de M , lorsque α reçoit des valeurs différentes. Il est plus commode, comme nous allons le voir, d'exprimer x_1 et y_1 en fonction de la largeur $P'Q'$ de la flottaison.

Le corps étant dans la position où la flottaison est $P'Q'$, donnons-lui une inclinaison différentielle supplémentaire $d\alpha$ telle que la flottaison devienne $P''Q''$. Les coordonnées du centre de carène qui étaient x_1 et y_1 , deviendront $x_1 + dx_1$ et $y_1 + dy_1$. Si nous appelons S la surface de carène $PLQ = P'LQ' = P''LQ''$, les moments de $P''LQ''$ par rapport aux axes coordonnés, seront : $S (x_1 + dx_1)$ et $S (y_1 + dy_1)$.

On obtient une autre expression de ces moments de la manière suivante :

On a $P''LQ'' = PLQ' + Q'IQ'' - P'IP''$ et le moment d'une somme étant égal à la somme des moments des parties, on a également $S (x_1 + dx_1) = Sx_1 +$ le moment de $Q'IQ'' -$ le moment de $P'IP''$.

Or les deux triangles différentiels $Q'IQ''$ et $P'IP''$ sont égaux entre eux; ils ont pour surface $\frac{1}{2} l^2 d\alpha$ (en appelant $2l$ la largeur $P'Q'$ de la flottaison) et leur centre de gravité est à une distance du point I égale à $\frac{2}{3} l$; leurs moments, par rapport aux axes, peuvent être calculés facilement et l'on a finalement :

$$S (x_1 + dx_1) = Sx_1 + 2 \times \frac{1}{2} l^2 d\alpha \times \frac{2}{3} l \cos \alpha$$

et

$$S (y_1 + dy_1) = Sy_1 + 2 \times \frac{1}{2} l^2 d\alpha \times \frac{2}{3} l \sin \alpha,$$

ou en réduisant :

$$Sdx_1 = \frac{2}{3} l^3 \cos \alpha d\alpha,$$

$$Sdy_1 = \frac{2}{3} l^3 \sin \alpha d\alpha.$$

Pour simplifier les notations nous poserons $\frac{2}{3} \frac{I^2}{S} = \rho$, ce qui changera les deux relations ci-dessus en celles-ci :

$$(2) \quad dx_1 = \rho \cos \alpha \, d\alpha,$$

$$(3) \quad dy_1 = \rho \sin \alpha \, d\alpha.$$

Quand on pourra exprimer ρ en fonction de α et éliminer α entre (2) et (3), la relation qui résultera entre x_1 et y_1 sera l'équation de la courbe décrite par le centre de carène lors des inclinations successives du corps flottant.

Divisons (3) par (2), il vient :

$$\frac{dy_1}{dx_1} = \tan \alpha.$$

Donc la tangente à la courbe des centres de carène α parallèle à la flottaison, qui correspond au point que l'on considère.

Élevons au carré (2) et (3) et ajoutons membre à membre, il vient :

$$dx^2 + dy^2 = \rho^2 d\alpha^2$$

ou

$$d\sigma = \rho d\alpha,$$

si l'on appelle σ la longueur de l'arc de la courbe des centres de carène.

Donc ρ est le rayon de courbure de la courbe des centres de carène, au point x_1, y_1 .

Le centre du cercle osculateur de la courbe des centres de carène est ce qu'on appelle *le métacentre*.

Il y a donc, en général, une infinité de métacentres; mais on réserve plus particulièrement cette désignation pour le centre de la courbure au point C, qui est le centre de carène pour la position initiale d'équilibre.

Dans le cas particulier où la courbe des centres de

carène est un cercle, tous les métrés sont combinés en un seul qui est le centre de ce cercle.

Revenons à l'équation (1) qui donne la valeur du moment produisant l'inclinaison α , savoir :

$$M = P \left[a - y_1 \sin \alpha - x_1 \cos \alpha \right]$$

et substituons dans le deuxième membre les valeurs de x_1 et de y_1 , déduites de (2) et (3), nous aurons :

$$M = P \left[a \sin \alpha - x_0 \int_0^\alpha \sin \alpha d\alpha - \cos \alpha \int_0^\alpha x_0 d\alpha \right]$$

valeur que l'on peut mettre sous la forme suivante en intégrant par parties et appelant z_0 la valeur de z qui correspond à $\alpha = 0$:

$$(4) \quad M = P \left[z_0 - a \sin \alpha - \cos \alpha \int_0^\alpha z_0 d\alpha - \sin \alpha \int_0^\alpha z_0 d\alpha \right]$$

Telle est l'expression compliquée du moment nécessaire pour produire une inclinaison α .

Si $d_1 = 0$, cette expression se réduit à :

$$(5) \quad M = P \left[z_0 - a \sin \alpha \right]$$

C'est ce qui aura lieu lorsque z_0 sera par conséquent la largeur z_1 de la flottaison, aura une valeur constante quelle que soit l'inclinaison α , ce qui est la même chose, lorsque les parois du corps flottant sont et restent de l'inclinaison que l'on considère, toutes parties de même sorte et par un centre sur l'axe des y .

Les corps flottants pour lesquels on a donné la possibilité de déterminer la valeur du moment M sont ceux qui sont, sont symétriques par rapport à l'axe des y . La possibilité de la flottaison est un minimum ou un maximum lorsque $\alpha = 0$; on pourrait facilement se rendre compte de cela, qu'un

fonction croît ou décroît très-lentement lorsque la valeur de la variable est peu différente de celle qui donne un minimum ou un maximum. On pourra donc adopter la valeur (5) du moment d'inclinaison pour un corps quelconque toutes les fois que α restera très-petit. Cela revient à substituer à la courbe des centres de carène son cercle osculateur au point C.

Il peut cependant être utile de déterminer une limite de l'erreur commise, surtout si α atteint une valeur qui ne puisse plus être considérée comme très-petite.

Supposons que la largeur de la flottaison croisse avec α dans la limite des inclinaisons que l'on considère; $d\rho$ sera alors positif. Soit ρ_1 la valeur de ρ correspondant à la plus grande valeur de α . On peut prouver que dans ce cas

$$\int_0^\alpha \cos \alpha d\rho \text{ est plus grand que } (\rho_1 - \rho_0) \cos \alpha \\ \text{et plus petit que } (\rho_1 - \rho_0)$$

et

$$\int_0^\alpha \sin \alpha d\rho \text{ est plus petit que } (\rho_1 - \rho_0) \sin \alpha \\ \text{et plus grand que } \alpha.$$

Si donc on remplace dans la valeur de M [équation (4)] le terme positif $\int_0^\alpha \cos \alpha d\rho$ par le terme plus petit $(\rho_1 - \rho_0) \cos \alpha$, et le terme négatif $\int_0^\alpha \sin \alpha d\rho$ par le terme plus grand $(\rho_1 - \rho_0) \sin \alpha$ on aura :

$$M > P [(\rho_0 - \alpha) \sin \alpha + (\rho_1 - \rho_0) \cos \alpha \sin \alpha + (\rho_1 - \rho_0) \sin \alpha \cos \alpha]$$

ou :

$$M > P (\rho_0 - \alpha) \sin \alpha.$$

Si, au contraire, on remplace dans (4) le terme positif $\int_0^\alpha \cos \alpha d\rho$ par le terme plus grand $\rho_1 - \rho_0$, et le terme négatif

si $\int_0^{\alpha} \sin x dx$ par le terme plus petit α , on aura :

$$M < P (\rho_0 - \alpha, \sin \alpha + \rho_1 - \rho_0, \sin \alpha - \epsilon)$$

ou :

$$M < P (\rho_1 - \alpha) \sin \alpha.$$

On aura ainsi deux valeurs entre lesquelles sera compris le moment M , et l'on pourra apprécier si la formule approchée (5) présente une exactitude suffisante.

Lorsque d_2 est négatif les Limites restent les mêmes : elles sont seulement renversées, M est $< \rho_1 - \alpha, \sin \alpha + \rho_0 - \rho_1, \sin \alpha$.

Quoi qu'il en soit de ces considérations, nous admettons, comme expression suffisamment exacte du moment M , la valeur

$$(5), \quad M = P (\rho_1 - \alpha) \sin \alpha.$$

$P (\rho_1 - \alpha)$ est une constante qui changera avec chaque bateau. Lorsque on ne pourra pas la déterminer directement au moyen des données de celui-ci, on la dedra de l'expérience. On appliquera au bateau un couple M_1 de la valeur connue, et l'on observera l'inclinaison produite α_1 . En substituant dans (5), on aura $P (\rho_1 - \alpha)$.

Le moyen le plus simple d'appliquer au bateau un couple de grandeur connue, consiste à déplacer un poids p , quelconque, faisant partie du chargement.

Soit (fig. 2) un bateau dont la flottaison primitive PP devient $P'Q'$, lorsque l'inclinaison produite est égale à α .

Soit A la position initiale du poids p , B la position finale.

Imaginons qu'on applique au point A deux forces parallèles à p , égales et de sens contraire. L'équilibre ne sera pas troublé, et l'on peut considérer le groupe des trois forces $(A - p)$, (Ap) , (Bp) comme formé :

1° D'une force p appliquée au point A et remplaçant le poids qui a été enlevé;

2° D'un couple $(p - p)$ dont le bras de levier est AK .

Donc, lorsqu'on change de position un poids placé sur un bateau, l'effet produit est le même que si, les poids restant en place, on appliquait au bateau un couple dont la force est p et le bras de levier AK .

Nommons d la différence AG des abscisses des points A et B , h la différence BG des ordonnées des mêmes points, on aura :

$$AK = AI + IK = d \cos \alpha + h \sin \alpha.$$

Par conséquent la valeur du moment du couple m , produit par le déplacement de p , est :

$$(6) \quad m = p (d \cos \alpha + h \sin \alpha).$$

Nous avons supposé, dans tout ce qui précède, que le volume d'eau déplacé restait constant; supposons maintenant que l'on ajoute un poids ω au chargement, ce qui produira une immersion correspondante du bateau.

Soit (fig. 3) :

PQ la flottaison primitive,

$P'Q'$ la flottaison lorsqu'on a ajouté le poids ω , de sorte que la tranche $PQ, P'Q'$ est le déplacement correspondant au poids ω ,

I le centre de gravité de cette tranche.

Ces flottaisons deviennent $pq, p'q'$ lorsque le bateau est incliné de l'angle α .

Nous savons que pour faire incliner un corps flottant il faut lui appliquer un couple dont les forces sont le poids et la poussée du liquide. Dans le cas qui nous occupe, le poids se décompose en deux parties, savoir : le poids P du bateau léger, et le poids ω dont le chargement a été augmenté; la poussée totale, de son côté, est la résultante de la poussée du volume pLq et de la poussée de la tranche $p'q'$. Le couple total se décompose donc lui-même :

1° En un couple qui a pour forces le poids primitif du bateau et la poussée primitive ;

2° Et en un couple qui a pour forces le poids ajouté ω et la poussée de la tranche $mn, m'n'$.

Le premier de ces couples est celui dont nous avons calculé le moment $M = P (p - a) \sin \alpha$.

Le deuxième a un moment dont la grandeur dépend de la situation du poids ω .

On peut imaginer que ω soit placé au point I. Alors le bras de levier du couple sera nul ; car le centre de poussée de $pq, p'q'$ s'éloignera très-peu de I, quelle que soit l'inclinaison, et restera même confondu avec lui si les parois $P'p$ et $Q'q$ sont parallèles.

De là résulte cette proposition :

Lorsqu'on ajoute un poids nouveau au chargement d'un bateau et que l'on place ce poids au point I, centre de gravité de la tranche dont le déplacement est augmenté, le couple nécessaire pour produire une inclinaison α ne change pas, ou du moins ne subit qu'une très-faible variation.

Nous avons à présent tous les éléments nécessaires pour résoudre le problème qui fait l'objet de cette note, et que nous énoncerons ainsi :

Déterminer le nombre de voyageurs qui, placés sur un bateau en un point déterminé et se déplaçant latéralement de la distance moyenne d , produiront une inclinaison α' , fixée *à priori*.

Soit P le poids du bateau lége ; nous savons que pour le faire incliner de l'angle α , il faut lui appliquer un couple dont le moment est $M = P (p - a) \sin \alpha$. Imaginons qu'on place un poids p sur ce bateau dans une position telle que le centre de gravité p se confonde avec celui I de la tranche dont le déplacement a été augmenté. Transportons ce poids à un lieu quelconque, sur le pont, par exemple à une hauteur h au-dessus du point I, et écartons-le latéralement de l'axe longitudinal à la distance d .

Le couple résultant de ce transport a pour moment :

$$(6) \quad m = p (d \cos \alpha + h \sin \alpha).$$

Par conséquent,

$$(7) \quad p (d \cos \alpha + h \sin \alpha) = P (\rho - a) \sin \alpha.$$

L'angle α sera mesuré directement; c'est le résultat de l'expérience.

Faisons la même opération pour les voyageurs; soit p leur poids inconnu, h' la hauteur de leur centre de gravité au-dessus du point I' centre de poussée de la tranche d'immersion, d' la distance moyenne qu'ils peuvent parcourir transversalement.

Nous aurons :

$$(8) \quad p' (d' \cos \alpha' + h' \sin \alpha') = P (\rho - a) \sin \alpha'.$$

Éliminant $P (\rho - a)$ entre (7) et (8), il vient :

$$(9) \quad p' (d' \cos \alpha' + h' \sin \alpha') \sin \alpha = p (d \cos \alpha + h \sin \alpha) \sin \alpha'.$$

Dans cette équation h' n'est pas connu, car il dépend de l'enfoncement ϵ du bateau sous la charge p' ; mais on pourra, avec une approximation suffisante, prendre pour sa valeur la distance du centre de gravité des voyageurs à la flottaison lège, sauf à la corriger ensuite si l'on trouvait que la quantité $\frac{1}{2} \epsilon$, dont elle doit être diminuée, n'est pas négligeable.

L'équation (9) déterminera donc p' au moyen des données de l'expérience.

S'il y avait deux ponts recevant des voyageurs, et qu'on voulût ajouter à ceux-ci un chargement non susceptible de déplacement, on aurait, en raisonnant comme nous l'avons fait pour établir l'équation (9) et en appelant p'' le poids des voyageurs à placer sur le deuxième pont, h'' leur hau-

teur au-dessus de la flottaison, d' leur déplacement latéral, p'' le poids du chargement, h''' sa hauteur au-dessus de la flottaison :

$$(10) [p'(d' \cos \alpha' + h' \sin \alpha') + p''(d'' \cos \alpha' + h'' \sin \alpha') + p''' h''' \sin \alpha'] \sin \alpha = p(d \cos \alpha + h \sin \alpha) \sin \alpha'.$$

On pourra choisir arbitrairement deux des trois inconnus p', p'', p''' ; l'équation déterminera la troisième.

Lorsque p' sera ainsi fixé, il faudra encore vérifier si la distance d' , que peuvent parcourir les voyageurs, est compatible avec la disposition du pont, et dans le cas contraire on recommencera le calcul en adoptant pour d' une autre valeur.

La formule (5) $M = P(p - a) \sin \alpha$, qui a servi de point de départ aux calculs qui ont conduit à la relation (10), n'étant qu'approximative lorsque α cesse d'être très-petit, on pourrait conserver quelques doutes sur l'exactitude de cette dernière. Si l'on veut les faire disparaître, il faudra donner au bateau une inclinaison d'expérience α qui diffère peu de α' . Lorsque $\alpha = \alpha'$, la formule (10) devient rigoureusement exacte, attendu que les deuxièmes nombres des équations (7) et (8) sont identiques.

Enfin, si l'on craignait encore que le centre de poussée de la tranche $pqp'q'$ (fig. 3) s'écartât sensiblement de sa position initiale I, il faudrait charger le bateau d'un poids égal au poids p' déterminé par la formule (9), et faire une seconde expérience dont les données serviraient à obtenir une autre valeur plus approchée de p' .

Le problème que nous nous étions posé est ainsi résolu au point de vue statique ; l'angle α' ne pourra pas être dépassé d'une manière permanente, mais il n'en sera plus le même lorsque les forces vives de la masse entreront en jeu sous l'action d'un brusque déplacement des voyageurs. Sans chercher à résoudre la question dans toute sa généra-

lité, nous allons déterminer la valeur maximum de l'inclinaison α , ou la limite de l'oscillation dans le cas particulier où les voyageurs passeraient instantanément d'une position à l'autre.

Nous conserverons les notations précédentes. Les voyageurs, en se déplaçant de la quantité d , donneront naissance à un couple moteur dont le moment est $m = pd \cos \alpha$. L'inclinaison du bateau fait naître de son côté un couple résistant dont le moment a pour valeur approchée $M = P(\rho - a) \sin \alpha$. Le bateau, lorsqu'il est incliné de α , est donc sollicité par le moment

$$N = pd \cos \alpha - P(\rho - a) \sin \alpha.$$

N est nul lorsque α atteint la valeur α' limite des inclinaisons statiques, et par conséquent $pd \cos \alpha' = P(\rho - a) \sin \alpha'$, d'où en substituant $P(\rho - a)$ dans l'équation ci-dessus

$$(11) \quad N = pd \cos \alpha - \frac{pd \cos \alpha' \sin \alpha}{\sin \alpha'} = \frac{pd}{\sin \alpha'} (\cos \alpha \sin \alpha' - \sin \alpha \cos \alpha').$$

L'élément de travail transmis au bateau pendant la rotation $d\alpha$ est :

$$N d\alpha = \frac{pd}{\sin \alpha'} (\sin \alpha' \cos \alpha d\alpha - \cos \alpha' \sin \alpha d\alpha).$$

Si l'on ne tient pas compte du changement de l'axe de rotation qui, en effet, est très-petit, on pourra intégrer cette expression pour avoir le travail total T transmis au corps lorsqu'il atteint l'inclinaison α ; on trouve ainsi :

$$T = \frac{pd}{\sin \alpha'} \int_0^\alpha (\cos \alpha \sin \alpha' - \sin \alpha \cos \alpha') d\alpha,$$

$$V = \frac{pd}{\sin \alpha'} (\sin \alpha \sin \alpha' + \cos \alpha \cos \alpha') + C.$$

Lorsque $\alpha = 0$, on a $T = 0$, par conséquent $C = -\frac{pd \cos \alpha'}{\sin \alpha'}$,
et substituant cette valeur dans T

$$T = \frac{pd}{\sin \alpha'} (\sin \alpha \sin \alpha' + \cos \alpha \cos \alpha' - \cos \alpha'),$$

et enfin :

$$(12) \quad T = \frac{pd}{\sin \alpha'} [\cos (\alpha - \alpha') - \cos \alpha'].$$

T , qui est nul à l'origine du mouvement, devient de nouveau égal à zéro lorsque $\cos (\alpha - \alpha') = \cos \alpha'$, ou lorsque α est égal à $2\alpha'$.

Or, au moment où le travail devient nul, le mouvement s'arrête; la limite de l'oscillation du corps sera donc $\alpha = 2\alpha'$.

Sans doute la supposition d'un déplacement instantané des voyageurs n'est pas admissible, et l'on ne peut pas négliger la résistance de l'eau, ainsi que nous l'avons fait; mais il n'en est pas moins vrai que pour fixer l'inclinaison-limite, qui sera regardée comme dangereuse, il faudra tenir compte de cette circonstance que le bateau, une fois en mouvement, dépassera considérablement la position d'équilibre.

Dans les expériences qui ont été faites jusqu'à présent, on a admis 0,20 pour l'inclinaison-limite. En réalité cette inclinaison serait dépassée de beaucoup et atteindrait probablement la valeur de 0,30 ou 0,40. Les voyageurs seraient jetés les uns sur les autres et les garde-fous seuls pourraient empêcher qu'ils ne tombassent à la rivière.

On devra donc vérifier si ceux-ci peuvent résister à la charge qu'ils auront à supporter; mais comme il pourrait résulter des accidents individuels de la chute des voyageurs, il sera prudent de diminuer la limite de l'inclinaison statique. Je pense qu'elle ne devait pas être plus grande que 0,15.

Lyon, le 21 octobre 1834.

EXTRAITS DE GÉOLOGIE

Par MM. DELESSE et A. DE LAPPARENT.

Nous nous proposons de résumer sommairement les principaux travaux de géologie qui ont été publiés en 1864. Comme l'année précédente, ces extraits se composeront de deux parties comprenant l'une les roches, l'autre les terrains. Les roches ont été spécialement traitées par M. Delesse, et les terrains par M. de Lapparent.

PREMIÈRE PARTIE.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES ROCHES.

Fluidité des solides par la pression.

Divers agents peuvent contribuer à ramollir les corps solides, à les rendre plastiques ou même tout à fait fluides ; ce sont particulièrement la chaleur, l'eau et la pression qui s'exercent d'ailleurs simultanément sur les roches se trouvant à une certaine profondeur dans l'intérieur de la terre.

M. Tresca (1) a fait des expériences ayant pour but d'étudier les effets de la pression lorsqu'elle agit seule sur les corps solides ; et il a reconnu que, lorsqu'elle est suffisamment grande, les corps solides peuvent s'écouler à la manière des liquides.

Divers métaux, la glace, des pâtes céramiques, ainsi que des grès pulvérisés, ont été expérimentés par M. Tresca.

(1) *Comptes rendus*, 7 novembre 1864.

Plaçant ces corps dans un cylindre, il exerçait sur eux un effort puissant, à l'aide de la presse hydraulique ; la pression à laquelle ils se trouvaient soumis déterminait alors leur écoulement sous forme de jet par une ouverture laissée libre à la base du cylindre.

Ces résultats ont beaucoup d'intérêt pour la géologie, car ils montrent que la pression seule, agissant à la température ordinaire, suffit pour produire l'écoulement de corps solides.

Lorsque des pressions énormes sont mises en jeu, comme celles qui accompagnent les phénomènes volcaniques et la formation des chaînes de montagnes, on conçoit que des roches, qui sont solides à l'intérieur de la terre, puissent cependant pénétrer jusque dans les fentes de l'écorce terrestre et même remplir les fissures les plus déliées. Bref, lorsque la pression est suffisante, et elle ne saurait faire défaut lorsqu'il s'agit des forces de la nature, les solides deviennent facilement plastiques ou même entièrement fluides : ils se comportent absolument comme des liquides.

Il importe maintenant d'observer que si des roches sont amenées par la pression à l'état fluide, les actions moléculaires y détermineront aisément la structure cristalline et la formation de divers minéraux. Comme les roches qui ont surgi du sein de la terre : l'état de dykes et de massifs, ont visiblement été soumises à une pression puissante, on conçoit qu'elles aient par cela même une structure cristalline. Elles la doivent, au moins en partie, à la pression, surtout lorsqu'elles n'ont pas été liquéfiées par la chaleur, comme c'est le cas pour des granites.

La pression a encore joué un grand rôle dans la cristallisation des roches métamorphiques, et spécialement des gneiss, des mica-schistes, des schistes talqueux ou chlorités.

Frappé par ces considérations, M. Delesse a entrepris depuis plusieurs années des expériences qui se poursuivent encore maintenant, et qui ont pour but de rechercher les effets produits sur les substances minérales par la pression, lorsqu'elle agit seule ou bien lorsqu'elle est combinée avec la chaleur.

Constatons du reste que contrairement à l'opinion émise par plusieurs savants, la pression a certainement exercé une grande influence sur les caractères des roches, particulièrement des roches éruptives et métamorphiques.

Phénomènes produits par les roches magnétiques.

Lorsque les roches sont magnétiques et en particulier lorsqu'elles contiennent du fer oxydulé, elles exercent, comme l'on sait, des perturbations sur l'aiguille aimantée.

D'après M. Haughton (1) un changement dans la direction de l'aiguille aimantée s'observe dans les environs d'Aberdeen et dans tout le Nord de l'Ecosse, où il tiendrait à du fer oxydulé. C'est encore à ce minéral que M. Haughton attribue le résultat trop faible, obtenu par Maskelyne et Hutton dans leurs expériences au Shehallien, qui avaient pour but de déterminer la densité de la terre au moyen du pendule.

MM. Lloyd, Sabine et Phillips remarquent d'ailleurs que dans le Royaume-uni, les perturbations magnétiques ont précisément leur minimum en Angleterre où les roches sédimentaires dominent; tandis qu'elles deviennent déjà beaucoup plus sensibles en Irlande, et qu'elles atteignent leur maximum en Ecosse, c'est-à-dire dans une région essentiellement formée de roches cristallines.

Enfin, M. Lloyd indique même qu'en Ecosse, pendant une aurore boréale, on voyait les rayons partir d'une syénite qui affleure dans le petit bras de mer du Loch Scavig.

Oxydes magnétiques des roches volcaniques.

Dans le but de déterminer la nature de l'oxyde de fer magnétique se trouvant dans des laves de l'Auvergne (2), M. Kossmann (3) a promené un barreau aimanté dans un poids déterminé de leur poudre mise en suspension dans un peu d'eau. En dosant le protoxyde et le sesquioxyde de fer contenus dans la partie enlevée par le barreau aimanté, il a reconnu que l'oxygène du protoxyde était à celui du sesquioxyde comme 4 : 3. M. Kossmann en a conclu que l'oxyde magnétique de ces laves avait une composition spéciale représentée par la formule Fe^3O^7 qui est précisément celle de l'oxyde des battitures.

Mais il importe d'observer que divers minéraux magnétiques peuvent se trouver dans les laves. Car, indépendamment du fer oxydé Fe^3O^4 , le fer oligiste qu'elles renferment souvent est aussi très-fortement magnétique; en outre, les silicates à base de fer qui constituent la pâte même des laves le sont également (4); par suite, malgré toutes les précautions prises, le barreau aimanté peut enlever plusieurs substances magnétiques, et la composition de leur mélange doit nécessairement être très-complexe.

(1) *Geological Magazine*, II, 74. — *Geological society from Dublin*.

(2) *Revue de Géologie*, IV.

(3) *Zeitschrift d. d. geologischen Gesellschaft* XVI, 555.

(4) Delesse: *Pouvoir magnétique des roches*. *Annales des mines* (4) XIV, 81, 249; XV, 481.

Bien que l'existence de l'oxyde des battitures dans les laves paraisse tout d'abord assez vraisemblable, nous pensons que les résultats obtenus par M. Kosmann demanderaient à être contrôlés par de nombreuses analyses faites sur des grains d'oxyde de fer triés avec le plus grand soin, et pris dans des laves provenant de divers gisements.

Structure prismatique articulée.

M. J. Thomson (1) a présenté quelques remarques sur l'origine de la structure prismatique articulée, telle qu'elle s'observe dans le basalte et dans d'autres roches ignées (2).

Comme la plupart des géologues, il pense que les colonnes de basalte ont été formées par les fentes, résultant du retrait d'une masse très-homogène qui se refroidissait. Quant aux articulations qui sont tantôt à faces planes et tantôt à faces courbes, il admet qu'elles proviennent de fractures qui se sont successivement propagées, comme des cercles croissant en diamètre.

Pour produire ces fractures, il fallait qu'il existât une traction longitudinale dans la colonne avant la formation des joints qui recoupent. Bien qu'il soit difficile de préciser la cause de cette traction, M. Thomson se demande si elle ne pourrait pas être attribuée à une action chimique provenant d'une infiltration d'eau et s'exerçant à l'extérieur de la colonne après sa formation.

Il importe cependant d'observer que la structure prismatique articulée ou présentant des joints perpendiculaires à la longueur, s'observe aussi dans des roches n'ayant pas une origine ignée; on la connaît particulièrement dans le gypse sédimentaire du bassin de Paris. Or, dans ce gypse, les colonnes ne peuvent être attribuées à un retrait produit par la chaleur, et leurs articulations sont indépendantes d'une infiltration postérieure.

D'un autre côté, dans les basaltes, dans les trapps, dans les trachytes, ayant la structure prismatique, la densité est généralement plus grande au centre du prisme que vers ses bords; en outre, lorsque ces roches sont altérées par l'atmosphère, elles se délitent suivant des zones concentriques qui accusent un groupement moléculaire, résultat de la cristallisation. Il faut donc reconnaître que la cristallisation a contribué, au moins pour une certaine part, à donner aux roches la structure prismatique articulée. Et, en

(1) *Report of the British Association*; 1881, 89.

(2) Dr K. F. Naumann: *Lehrbuch der Geognosie*, 2^e éd., I, 482.

tout cas, c'est elle qui leur a donné le plus souvent la structure globuleuse ou sphéroïdale (1).

CLASSIFICATION DES ROCHES.

Classification chimique.

La composition chimique des roches volcaniques et éruptives a conduit M. Bunsen à les considérer comme des combinaisons de deux types extrêmes représentés par un trachyte et par une roche pyroxénique. Appliquant ces considérations aux roches silicatées de la Saxe, de la vallée de la Fassa et du Tyrol méridional, M. Th. Schéerer (2) les a généralisées. D'après de nombreuses analyses, il propose de rapporter toutes les roches éruptives à neuf types, qui seraient donnés par ce tableau :

TYPES.		ROCHES CARACTÉRISTIQUES.	RAPPORT de l'oxygène des bases à celui de la silice.	VALEUR moyenne en silice.
Pionite.	supérieure...	1 Gneiss rouge...	0,323	75
	moyenne...	2 Gneiss moyen (granite)...	0,347	70
	inférieure...	3 Gneiss gris...	0,333	64
Pluto-vulcanite...	supérieure...	4 Syénite quartzifère...	0,375	63
	moyenne...	5 Syénite...	0,420	60
	inférieure...	6 Melaphyre...	0,500	55
Vulcanite...	supérieure...	7 Porphyre anglique...	0,667	48
	moyenne...	8 Basalte...	0,750	42
	inférieure...	9 Basalte basique...	1,000	30

Comme exemples de ces neuf types, M. Schéerer indique particulièrement les roches suivantes :

(1) Delessé : *Études sur le métamorphisme des roches*, 1866, in-8°, page 371 à 75. — *Recherches sur les roches globuleuses* (Mémoires de la Société géologique) (2), V.

(2) *Neues Jahrbuch von G. Leonhard und Geinitz*, 1864, 335.

- 1 Gneiss rouge de l'Erzgebirge, granite, porphyre, liparite, trachyte normal.
- 2 Granite, gneiss, porphyre, liparite.
- 3 Gneiss gris de l'Erzgebirge, granite, syénite, andésite, liparite, porphyre.
- 4 Certains trachytes, porphyres, andésite amphibolique.
- 5 Syénite ordinaire et syénite micacée, certains porphyres, andésite amphibolique et pyroxénique.
- 6 Certains porphyres, dolérite, andésite pyroxénique.
- 7 Roche pyroxénique normale, euphotide avec hypersthène, certains basaltes, amphibigénite, diorite, diabase, dolérite, roche à base d'aegirine ou augite ou amphibole.
- 8 Divers basaltes se rapportant aussi au type précédent.
- 9 Basalte de Keutzbach dans le Rhén.

La plutonite supérieure de M. Schéerer correspond à peu près au trachyte normal de M. Bunsen, et la vulcanite supérieure à la roche pyroxénique normale.

On peut voir que cette classification chimique des roches éruptives a l'inconvénient de réunir des roches qui sont entièrement distinctes par leurs caractères minéralogiques ou géologiques comme le granite et le trachyte, la liparite et le porphyre; en sorte qu'elle dissémine une même roche dans des types différents (1).

Classification géologique.

La classification des roches est généralement basée sur leurs caractères dominateurs ou de premier ordre, c'est-à-dire sur leurs caractères minéralogiques, physiques ou bien géologiques.

Dans celle adoptée par M. Vézian, l'origine même des roches sert à établir des groupes naturels et la prééminence est accordée au caractère géologique; le tableau suivant indique qu'elles sont alors les divisions adoptées :

(1) *Revue de géologie*, III, 79.

(2) *Prodrome de Géologie*, I, 220.

Roches	sédimentaires.	Origine organique.	Origine animale.	Tripoli, roches à polypiers, salons.
			Origine végétale.	Combustibles (anthracite, houille, lignite).
		Origine inorganique.	Sédimentation mécanique.	Conglomérées (poudingues, conglomérats, brèches). Arénoïdes (grès, sable, macigno, arkose, psammite). Argiloïdes (marnes, argiles, schiste argileux).
			Sédimentation chimique.	Métalliques (fer hydraté). ... diverses (bitume, gypse, sel gemme). Carbonatées (calcaire, dolomie). Siliceuses (schistes talqueux, schistes micacés, gneise).
	éruptives.	Plutoniques.	Hydrothermales.	Granitoïdes (granite, syénite, protogyne). Porphyroïdes (porphyres). Dioritiques (diorite, serpentine, euphotide).
				Trappéennes (trapp).
		Volcaniques.	Ignées.	Trachytiques (trachyte, domite). Basaltiques (basalte, dolérite). Laviques (lave).

Une bonne classification de roches est assurément très-difficile à établir, et celle de M. Vézian, qui est basée sur leur origine, présente des avantages incontestables; cependant les divisions y sont peut-être trop multipliées? Il semblerait préférable notamment de ne pas distinguer dans la sédimentation celle qui est mécanique, chimique ou organique. Beaucoup de roches réunissent, en effet, cette triple sédimentation; c'est ce qui a lieu, par exemple, pour celles qui, déposées au fond de la mer, contiennent à la fois des grains de sable, du calcaire précipité chimiquement et des débris de mollusques.

Pour diverses roches, il est d'ailleurs assez difficile de connaître d'une manière bien précise quel est leur mode de sédimentation.

En outre, il y a quelque inconvénient à ce que des roches ayant même composition minéralogique se trouvent disséminées dans plusieurs groupes. C'est en particulier ce qui arrive pour le calcaire qui appartient aux roches d'origine animale ainsi qu'aux roches conglomérées, arénoïdes et déposées chimiquement.

ROCHES.

Nous allons maintenant faire connaître les différentes espèces de roches et surtout celles qui ont été analysées ou qui appartiennent à de nouveaux gisements. Si l'on veut les comparer facilement avec les résultats déjà connus, il suffira d'ailleurs de consulter les ouvrages spéciaux qui traitent de lithologie, notamment les *Berues de géologie* publiées les années précédentes, les *Comptes rendus annuels* de MM. Liebig, Hermann, Kopp et H. Will, ainsi que les tableaux de M. J. Roth, qui résument les analyses de roches (1).

ROCHES DIVERSES.

Roches carbonées.

Pétrole.

Gallicie. — Les couches de la Gallicie qui laissent suinter du pétrole forment une zone mince qui, d'après M. Schübert (2), est parallèle à la direction des Carpathes, et qui se poursuit jusqu'à dans la Moldavie. Elles consistent en schistes argileux d'un gris de fumée et très-bitumineux qui alternent avec du grès à fucoides atteignant au plus 0^m,65 d'épaisseur. C'est seulement dans les schistes qu'on observe de l'ozokerite; mais le pétrole et le naphte s'exploitent au moyen de puits dans le grès et quelquefois dans le calcaire.

Lignite.

Nouvelle-Zélande. — Différents lignites de la Nouvelle-Zélande, particulièrement de Saddle-Hill (Otago) ont été analysés par

Anthracite.

Bohême. — M. Feistmantel (1) a signalé la présence de l'anthracite dans un grüstein près de Beraun, en Bohême. Ce grüstein, dont le grain est cristallin, apparaît au milieu de calcaires et de grauwackes de l'étage silurien. L'anthracite s'y rencontre tapissant les parois de petites fentes irrégulières; de la chaux carbonatée l'accompagne et présente quelquefois une structure fibreuse. Ces fentes sont distribuées sans ordre dans le grüstein. On sait d'ailleurs que l'anthracite est connu dans des gisements analogues, et qu'il se rencontre quelquefois dans des filons.

Graphite.

Bohême. — M. Lipold (2) a décrit un gîte de graphite situé près de Swojanow, en Bohême. Il forme des amas dans un schiste argileux en contact avec un calcaire cristallin ancien : on remarque que le graphite est plus particulièrement abondant lorsque les calcaires et les schistes sont imprégnés de pyrite de fer.

Relation entre la puissance calorifique et l'âge des combustibles.

M. Ch. de Hauer (3) a cherché la relation qui existe entre la puissance calorifique des combustibles minéraux de l'empire d'Autriche et l'âge des terrains auxquels ils appartiennent. Après avoir donné le tableau d'un très-grand nombre d'essais exécutés sur les lignites et les charbons des diverses parties de la monarchie, il en a ainsi résumé les résultats généraux :

La seconde colonne fait connaître le nombre de calories développées par 100 parties de charbon débarrassé de l'eau et des cendres; et sous le titre d'équivalent est indiqué le nombre de quintaux de charbon (1 quintal = 56 kilog.), qui équivaldraient à 1 klafter (3^{mètres} cub., 24) de bois tendre.

On voit par ce tableau que la valeur combustible des charbons croît à peu près régulièrement à mesure qu'on remonte les âges.

Le lias présente cependant une anomalie, d'autant plus frappante qu'elle n'est pas seulement un résultat moyen, mais qu'elle se reproduit avec la même précision dans chaque cas particulier.

Ce résultat s'explique, d'après M. de Hauer, de la manière suivante :

On sait que la formation des charbons de terre résulte de l'élimination des composés oxygénés contenus dans une masse quelconque de matière végétale. Le carbone est ainsi concentré, et de plus l'hydrogène libre va en augmentant. Comme le carbone fournit par la combustion 8.000 calories, tandis que l'hydrogène en produit jusqu'à 36.000, on conçoit que, dans le cours des âges et de la désilisation, il puisse arriver un moment où la puissance calorifique après avoir constamment augmenté, aille ensuite en diminuant; et un nouvel enrichissement en carbone correspond alors à une part relativement supérieure en hydrogène libre. Ce moment, d'après le tableau qu'on vient de lire, serait atteint pour les dépôts houillers de la période du lias.

M. Haidinger a d'ailleurs constaté que les dépôts houillers les plus récents dégagent de l'acide carbonique, tandis que les plus anciens dégagent surtout des hydrogènes carbonés.

Quant aux variations extrêmes de la puissance calorifique des combustibles dans un même gisement, elles sont exprimées par cet autre tableau que donne également M. de Hauer :

TERRAINS.	MAXIMUM de la puissance calorifique.		MINIMUM de la puissance calorifique.	
	Calories.	Équivalents.	Calories.	Équivalents.
Miocène supérieur.	5925	9,91	4440	11,82
Id. inférieur.	5942	9,83	4794	10,95
Éocène supérieur.	5720	9,14	4946	10,61
Id. inférieur.	6715	7,81	6717	9,18
Trias.	6887	7,62	5852	8,89
Terrain houiller.	6707	7,82	6084	8,62
Lias.	7414	7,85	6651	7,89

On voit que les variations, dans les limites d'un même terrain, sont notablement plus grandes que la différence entre la puissance calorifique de deux terrains consécutifs; mais les nombres qui expriment le minimum de la valeur combustible forment bien une progression croissante depuis le miocène jusqu'au terrain houiller, le lias faisant toujours exception.

Enfin, les plus grandes différences se manifestent, d'une part, entre l'éocène supérieur et l'éocène inférieur; d'autre part, entre le lias et le terrain houiller.

Relativement à ces recherches de M. de Hauer, nous ferons d'ailleurs observer qu'il est assez difficile de comparer des combustibles appartenant à des époques géologiques différentes.

Il faudrait, en effet, que les plantes dont les débris ont formé ces combustibles eussent été enfouies de la même manière; il faudrait surtout qu'elles fussent restées les mêmes pendant toute la série des âges; or cette dernière condition n'a pas été remplie, puisque nous voyons la flore changer successivement avec les terrains.

La grande différence que présentent quelquefois dans leurs caractères minéralogiques les couches successives de houille appartenant à un même bassin houiller, paraît même provenir surtout de ce que la flore s'est modifiée pendant leur dépôt. C'est du reste ce qui est démontré par l'étude des empreintes végétales propres à chaque couche de houille, et aussi par celle des plantes qui composent les couches d'une même tourbière.

Maintenant les combustibles du lias sont assez rares, et ceux de l'Autriche, qui ont été étudiés par M. de Hauer, pourraient bien se trouver dans des conditions spéciales et avoir une richesse exceptionnelle.

Ajoutons encore que différentes circonstances doivent nécessairement exercer une grande influence sur la puissance calorifique des combustibles; telles sont notamment les conditions de leur gisement, la facilité avec laquelle ils se laissent pénétrer par les infiltrations, la nature des couches dans lesquelles ils sont intercalés, la profondeur à laquelle ils se trouvent et la pression qu'ils supportent.

D'après ces considérations, il nous paraît que les résultats obtenus par M. de Hauer dans l'analyse des combustibles, bien qu'étant incontestablement vrais pour la monarchie autrichienne, et même dans leur ensemble, n'ont cependant pas toute la généralité qui leur a été attribuée; ils demanderaient à être complétés par l'étude des combustibles d'autres pays; la puissance calorifique qui a été trouvée si grande pour les combustibles du lias réclamerait surtout une confirmation.

Répartition des combustibles dans la série des terrains

M. le professeur Morris (1) a donné un tableau qui résume la distribution géologique des combustibles minéraux dans les divers terrains; il fait connaître leur gisement dans divers pays, et plus particulièrement dans les îles Britanniques. Déjà un travail semblable avait été publié par M. E. Dupont (2), ingénieur en chef, directeur de l'École des mineurs de Saint-Étienne et l'on trouvera spécialement ce qui concerne la France.

(1) *Coal its geological and geographical position.*

(2) Dupont : Tableaux géologiques des terrains indiquant les mines exploitées ou reconnues dans chacun d'eux. Paris, 1859.

TERRAINS.	ILES BRITANNIQUES.	PAYS DIVERS.
Quaternaire.	Tourbe et lignite.	Tourbe et lignite.
Pliocène.	<i>Id.</i>	<i>Id.</i>
Miocène ou Éocène supérieur.	Lignite d'Antrim, de Bo- vey Tracey, de Corfe.	Combustible anthraciteux et bitu- mineux de Sarzanello, en Pié- mont, et de Monte Bamboli, en Toscane.
Éocène.	Lignite de Wolwich, Lewisham, etc.	Lignite d'Allemagne, de France, d'autres parties de l'Europe et de l'Asie occidentale.
Crétacé.	"	Lignite du bassin de Paris; houille et lignite de Tasmanie, de Nou- velle-Zélande, de Valparaiso, de l'Amérique du Nord, de la Malaisie.
Wéaldien.	Lignite et jayet du Sus- sex.	Lignite et jayet de l'Espagne; île Vancouver.
Oolite et lias.	Schistes bitumineux de Kimmeridge. Houille de Skye. Houille de Brora. Houille du Yorkshire. Jayet de Whitby.	Houille de Buckeburg, de Min- den, du Hanovre. Houille de Bornholm. Houille de Cutch, Burdwan, Raj- mahal, Damuda, Nerbudda et Umret.
Trias.	"	Houille de la Virginie orientale et de la Caroline du Nord.
Permien.	"	Lettenkohle de l'Allemagne. Schistes bitumineux de la Thu- ringe.
Carbonifère.	Houille, anthracite, cannel-coal, houille sèche, bog-head, ap- partenant au terrain houiller ou carboni- fère.	Lignite de la Russie. Bassins houillers d'Europe, de Chine, d'Australie, de Tasma- nie, de l'Amérique du Nord.
Dévonien.	"	Anthracite du Nouveau Bruns- wick.
Silurien et Cam- brien.	Anthracite de l'Irlande, du pays de Galles et du sud de l'Écosse. Graphite.	Schistes bitumineux de la Russie. Anthracite de Suède et d'Alle- magne. Graphite.

Terres végétales.

Des analyses de M. T. L. Phipson (1) ont montré que dans les sols cultivés, la proportion de matières organiques va constamment en augmentant, mais que cependant leur fertilité diminue. Comme l'ont remarqué MM. de Liebig et Thompson, ce résultat doit spécialement être attribué à ce que les sols perdent insensiblement leur potasse, leur chaux, leur acide phosphorique.

Soufre.

Corfou. — M. D. T. Ansted (2) a étudié le gisement du soufre de Corfou qui se présente en veines minces, à structure radiale, intercalées dans des marnes gypseuses ou bien dans des dépôts érudus de gypse.

Des sources dégageant de l'hydrogène sulfuré existent dans le voisinage et paraissent provenir d'une action volcanique s'exerçant à une petite profondeur; elles montrent bien qu'il est l'origine de ce soufre.

Alunite.

Mont-Dore. — L'alunite du Mont-Dore a été analysée par M. Gautier-Lacroze (3).

Densité.	SO ₃	S	KO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Résidu siliceux.	HO	Summ.
2,484	25,55	7,33	5,09	23,53	1,93	24,66	10,40	100,50

Elle est visiblement très-mélangée de soufre et de trachyte (4).

(1) *Report of the British association*, 1863, 51.

(2) *Report of the British association*; 1863, 64.

(3) *Comptes rendus*, LVII, 382.

(4) Rammelsberg : *Handbuch der Mineralchemie*, 289. *Jahresbericht von Hermann Kopp und B. Will*; 1863, 1874.

Phosphates.

Bohême. — Des analyses complètes de coprolites et de nodules phosphatés provenant de la Bohême ont été faites par M. Robert Hoffmann. (1)

- A Phosphates dans le schiste combustible du Rothliegende, à Starkenbach.
 B *Id.* épars dans les champs et entourés habituellement par de l'oxyde de fer brun; ils appartiennent au Rothliegende de Hredl.
 C *Id.* du terrain crétacé de Kostiz.

P ₂ O ₅	SO ₃	CO ₂	Cl	SiO ₂ (soluble)	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	KO	NaO	Résidu insoluble	Matières organiques	HO	Az	Somme.
6,35	"	8,32	"	0,48	15,41	31,83	1,04	0,38	0,36	6,02	18,79	"	0,05	99,56
4,79	"	8,00	"	"	57,21	4,48	2,00	0,31		11,75	5,87	2,50	"	100,00
8,50	4,48	6,98	0,08	0,03	1,00	34,50	0,41	0,49		14,60	11,01	1,76	"	100,00

Franconie, Souabe. — M. Gumbel (2) vient de signaler en Franconie de nouveaux gîtes de phosphates qui ont été analysés dans le laboratoire de M. de Liebig.

Le terrain jurassique de la Franconie présente deux zones qui sont riches en phosphates : 1° les couches inférieures de l'étage supérieur du lias moyen (zone à ammonites *Margaritatus*); 2° les couches les plus élevées de l'étage supérieur du Dögger (zone à *Ornat*).

D'après M. de Liebig, des nodules, appartenant à la deuxième zone et pris entre Rabenstein et Walschenfeld, contenaient jusqu'à 36 pour 100 d'acide phosphorique. Dans des moules d'ammonites *margaritatus* et de *pleurotomaria anglica* qui provenaient de la première zone, aux environs de Boll en Wurtemberg, l'acide phosphorique atteignait 40 pour 100, c'est-à-dire à peu près la proportion qui est contenue dans la phosphorite d'Amberg.

En Souabe, deux zones de phosphates se retrouvent également et elles sont aux mêmes niveaux géologiques.

(1) Erdmann und Werther: *Journal, f. prakt. Chemie*, t. XC, 469.

(2) Académie de Munich. *Sitzung der Math.-Phys. Classe*; 10 Décembre 1861.

Relativement à l'exploitation de ces phosphates pour l'agriculture, M. Gumbel observe que ceux de l'argile à Margaritatus qui se trouvent, par exemple, entre Bayreuth et Bamberg, sont généralement trop petits et trop peu continus pour qu'il y ait avantage à les extraire directement ; mais on pourrait utiliser ceux de la surface qui sont déjà débarrassés de leur argile par l'exposition à l'air. L'argile à Ornati (Dogger) présente au contraire assez de phosphates pour que dans certains endroits leur exploitation soit avantageuse.

La richesse des couches en acide phosphorique devra d'ailleurs être déterminée par l'analyse et sera toujours le meilleur guide.

Phosphorite.

Amberg. — La phosphorite ou ostéolite d'Amberg, découverte depuis plusieurs années, a été analysée par M. Mayer (1).

Fl	I	P ₂ O ₅	CaO	MgO	Fe ₂ O ₃	KO, NaO	Sum
2,00	traces.	43,53	53,55	0,10	0,26	0,75	100.

C'est, d'après M. Rammelsberg, une apatite fluorée ayant pour formule :



M. Gumbel vient d'étudier le gisement de cette phosphorite d'Amberg; elle se trouve très-près d'une couche puissante de liasite et plonge de 45° vers le sud-ouest, mais sans se continuer dans la profondeur. Sa puissance varie de 0^m,50 jusqu'à 2^m,50. Très-irrégulière, elle s'étend sur une longueur de 55 mètres et sa largeur connue varie de 1 à 12 mètres. La terre végétale forme son toit et la recouvre au plus de 1 mètre. Son mur présente une argile brune rouge avec hydroxydes de fer et de manganèse. Cette argile repose d'ailleurs sur les couches du Dogger et sur l'oolite verte du Jura.

Des amas de phosphorite, tantôt compacte, tantôt pulvérulente et analogues à celui d'Amberg, se montrent encore sur d'autres points de la Bavière; il y en a particulièrement au voisinage des dépôts de lignite qui s'étendent dans les montagnes basaltiques comprises entre le Fichtelgebirge, les forêts du haut Palatinat et le Rhön.

(1) *Rammelsberg Handb. d. Mineralchemie*, 353.

Ainsi, M. Gumbel signale de la phosphorite près de Kemnath à la mine de lignite Sattlerin; elle s'y trouve en nids près du contact des couches tertiaires avec des roches basaltiques. A la mine de lignite Stindellohe, près de Redwitz, dans le Fichtelgebirge, M. Nauck (3) indique un gisement analogue et l'on en rencontre également dans les montagnes du Rhön. Toutefois, aucun de ces gîtes n'est assez régulier, ni assez important pour qu'on puisse l'exploiter avec avantage pour l'agriculture.

Guano.

Le guano contient des diatomées dont les carapaces siliceuses sont bien conservées et peuvent être facilement reconnues sous le microscope (1).

M. C. Janisch (2) a poursuivi leur étude pour les guanos du Pérou, d'Angono, de Patagonie, d'Ichaboe; il a fait connaître les espèces auxquelles elles appartiennent et il a représenté leurs formes pour ces divers gisements; en sorte que ses recherches permettent d'employer le microscope pour contrôler la provenance et par suite la qualité des guanos.

Roches calcaires.

Calcaire marneux.

M. Henry Sainte-Claire Deville a fait faire par ses élèves, dans son laboratoire de l'École normale, différentes analyses de calcaire marneux servant à fabriquer de la chaux hydraulique et des ciments.

- A Calcaire gris jaunâtre avec fossiles spathistes; il est employé à la fabrication d'un ciment à Pont de-Pany. (M. Jamet).
- B Calcaire siliceux appartenant au grès vert et fournissant, d'après Vicat, une chaux de qualité supérieure pour les travaux à la mer; de Sassenage dans le Dauphiné. L'excès de cette analyse qui a été réparti sur l'ensemble des résultats était de 1 p. 100. (M. Gossin.)
- C Calcaire donnant le ciment de Boulogne-sur-Mer; première variété. (M. Isambert.)
- D Calcaire donnant le ciment de Boulogne-sur-Mer; deuxième variété. (M. Levistal.)

(1) *Revue de géologie*, II, 75.

(2) *Abhandlungen d. Schlesisch. Gesellschaft f. nat. Cultur*, 1862.

	SiO ₂	CaO	MgO	Alcalis.	HO	P
A	37,70	3,00	0,70	2,20	1,70	•
B	30,17	2,91	•	13,99	1,84	0,62
C	•	•	•	16,78	5,29	2,13
D	•	•	•	23,77	4,53	2,56

On peut observer que dans ces calcaires marneux le résidu insoluble est riche en silice, et c'est particulièrement bien marqué pour celui de Sassenage qui se rapproche sous ce rapport du calcaire si renommé du Theil et qui peut être employé comme lui pour les travaux à la mer.

Les alcalis y sont en proportion assez notable, ce qui doit contribuer à améliorer les produits hydrauliques qu'ils fournissent et faciliter la formation d'hydrosilicates analogues aux zéolites. Comme les calcaires marneux se déposent à l'état de vase et sont mélangés d'argiles qui proviennent pour la plupart de la destruction de roches feldspathiques, on conçoit d'ailleurs qu'ils renferment généralement des alcalis.

Les pyrites ont aussi été déterminées d'une manière spéciale; car, par suite de la cuisson, elles donnent en définitive du sulfate de chaux hydraté ou du plâtre qui nuit à la qualité des ciments lorsqu'il s'y trouve en trop grande proportion.

Bassin de Paris. — Le calcaire grossier des environs de Paris est recouvert par des calcaires marneux que les ouvriers nomment habituellement caillasses et les géologues marnes blanches. Ces marnes ont environ une dizaine de mètres d'épaisseur; elles sont friables, tachent les doigts et présentent des rognons avec cristaux de chaux carbonatée et de quartz.

Des échantillons qui provenaient de la carrière Borie à Ivery-sur-Seine ont été analysés au laboratoire de M. H. Mangon à l'École des Ponts-et-Chaussées.

- A Marne blanche avec caillasses dures; immédiatement superposée au calcaire grossier et ayant 3^m,50 d'épaisseur.
- B Marne grise compacte; banc de 0^m,70.
- C Marne blanche friable; banc de 4 mètres qui se trouve au-dessus des deux précédents.

	CaO	MgO	Perte au feu.	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	Résidu insoluble.	Somme.
A	48,65	1,00	41,75	1,30	7,30	100,00
B	30,35	15,65	48,45	1,55	4,00	Id.
C	31,10	13,65	45,75	2,00	5,50	Id.

On voit que les marnes blanches recouvrant le calcaire grossier laissent très-peu de résidu argileux dans l'acide, lorsqu'elles ont été préalablement débarrassées des rognons siliceux qui leur sont mélangés; en réalité ce sont plutôt des calcaires pulvérulents que des marnes.

En outre, elles contiennent plus de 15 p. 100 de magnésie dans la partie supérieure de leur dépôt. Bien qu'elles en renferment moins que la dolomie, elles sont donc très-magnésiennes; du reste, rien ne l'indique dans leurs caractères et l'analyse seule permettrait de le constater, car elles paraissent homogènes dans tout l'étage.

Les marnes blanches de la partie supérieure, par cela même qu'elles renferment beaucoup de magnésie seraient d'ailleurs peu propres à fabriquer, soit de la chaux hydraulique, soit des ciments de très-bonne qualité. On ne pourrait s'en servir notamment pour faire du ciment Portland, comme on en avait d'abord le projet; cependant, d'après des essais entrepris par M. de Herrypon, les marnes de la partie inférieure de ce dépôt seraient susceptibles d'être employées à cet usage.

Roches siliceuses.

Silice farineuse.

Franzensbad. — La silice farineuse qui s'est déposée aux environs de la source Louise près de Franzensbad, a été analysée par M. Robert Hoffmann (1).

SiO ₂	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Alcalis.	Matières organiques.	HO	Somme.
77,000	0,190	0,010	traces.	0,040	0,401	15,450	6,000	100,00

(1) Erdmann und Werther: *Journal f. prakt. Chemie*, XC, 407. — *Neues Archiv*: 1864, 620.

Tripoli.

Bohême. — Quelques variétés de tripolis de Bohême ont encore été analysées par M. Robert Hoffmann.

- A Silice schisteuse, happant à la langue (*Saugschiefer*), plus dure que le véritable tripoli ; de Kutschlin près Bilin.
- B Tripoli doux et tendre, qui absorbe l'eau et se délite en feuilles ; de Kutschlin. Il forme la couche supérieure de tout le dépôt, et on l'emploie beaucoup pour le polissage.
- C Tripoli de Meistersdorf. Découvert dans ces derniers temps, il se distingue de celui de Bilin par une couleur grise et une dureté plus grande ; en outre, la structure feuilletée y est à peine discernable.

	Beauvais.	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO	KO	AcH ³	H ₂ O	Densité à 15°
A	1,944	80,30	"	"	5,40	0,41	0,43	"	0,30	0,01	10,90	1,57-2,6
B	1,892	74,20	0,24	0,12	6,81	0,41	"	0,30	0,02	0,02	13,30	1,57-2,6
C		72,60	"	0,54	5,60	0,59	0,36	"	0,24	0,24	7,00	1,57-2,6

Ces tripolis ont la même composition que les dépôts de certaines sources siliceuses (1), et en particulier que ceux de Franzensbad dont l'analyse vient d'être donnée.

On voit d'ailleurs qu'ils contiennent un peu d'acide phosphorique et que leur proportion de matières organiques peut devenir très notable, comme à Franzensbad et à Meistersdorf.

Grès.

Newcastle. — Différentes analyses de grès exploités pour les constructions dans le bassin houiller de Newcastle ont été faites par MM. R. Calvert, Clapham et John Dalrymple (2).

- I. Roche brune de Pensher.
- II. Roche blanche de Pensher.
- III. Roche moyenne de Cox Green.
- VI. Grès de Cragleith.
- V. Psammite ou grès micacé.

(1) Rammelsberg : *Handbuch der Mineral chemie*, 136.

(2) *Report of the British association*, 1863, 38.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO, CO ₂	MgO, CO ₂	Sels de potasse et de soude.	Somme.
I	78,50	16,00	5,00	0,21	0,30	traces.	100,01
II	86,90	10,00	1,16	0,30	0,30	Id.	100,06
III	81,60	9,60	6,60	1,20	0,40	Id.	99,40
IV	86,32	7,72	2,60	1,00	traces.	Id.	100,36
V	76,25	6,12	9,52	1,11	0,28	1,40	93,78

Ces grès sont employés pour maçonner les puits de mines; mais lorsqu'ils ont été exposés aux vapeurs sulfureuses provenant des fourneaux d'aérage, leur oxyde de fer et leurs carbonates ne tardent pas à se dissoudre, et, par suite, on conçoit qu'ils doivent se désagréger.

Roches argileuses.

Argillite.

Suède. — Des argiles lithoïdes ou argillites de Suède ont été analysées par M. Eisenstuck (1).

A Argillite brune de Wermland.

B Argillite de Calmarlän.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Mn ₂ O ₃	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
A	68,2	15,4	5,7	»	2,0	1,7	3,9	3,0	100,0
B	67,0	14,8	7,5	0,5	2,0	1,9	4,8	1,5	100,0

Ces argillites sont riches en alcalis et ainsi que l'observe M. Alexandre Müller, elles diffèrent très-peu du gneiss de la Saxe qui a été analysé par M. Th. Schéerer (2).

Il est facile de comprendre, d'après ces analyses, comment des roches argileuses peuvent se métamorphoser en gneiss et en roches granitiques, sans que leur composition chimique soit changée.

(1) *Journal f. prakt. Chemie von Erdmann und Werther*, LXXX, 205.

(2) *Revue de Géologie*, III, 120.

Pyroschiste.

Bohême. — Un schiste combustible ou pyroschiste (1) appartenant au Rothliegende de Starkenbach a été attaqué par l'acide et examiné par M. R. Hoffmann (2).

Résidu insoluble.	PO ₅	SO ₃	CO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	KO	NaO	NaCl	Hum.
47,66	6,89	0,03	13,86	1,18	8,47	22,88	2,70	0,01	0,76	traces	29,61

Ce schiste contient beaucoup de carbonate de chaux. Il renferme aussi de l'acide phosphorique, ce qui se comprend facilement puisqu'on y trouve les nodules de phosphates dont nous avons donné précédemment la composition (3).

Tufs.**Tuf de porphyre.**

Si l'on nomme tufs les roches sédimentaires formées des débris de roches feldspathiques plus ou moins décomposées et passées à l'état argileux, on conçoit qu'ils présenteront des différences assez notables dans leur composition, suivant que l'orthose ou l'anorthose y domineront. Lorsque ces tufs proviennent de débris porphyriques, on a le felsittuf et le thonstein des minéralogistes allemands. Depuis longtemps ces roches ont fixé l'attention des géologues, surtout à cause de leurs caractères bizarres qui les font participer à la fois des roches éruptives et sédimentaires. Agricola et les anciens minéralogistes les indiquent déjà dans les environs de Chemnitz en Saxe. M. Knop les a analysées. M. le Professeur C. Naumann (4) s'est aussi occupé d'une manière spéciale de leur étude et des échantillons types, choisis par ce savant géologue, viennent encore d'être analysés dans le laboratoire de M. Erdmann par M. Wolfgang Eras (5).

(1) *Revue de Géologie*, III, 108.

(2) Erdmann und Werther: *Journal für prakt. Chemie*, XC, 469.

(3) *Revue de Géologie*, IV.

(4) *Revue de géologie*, I, 39 à 41.

(5) *Neues Jahrbuch von G. Leonhard und Geinitz*: 1864, 673.

- A Tuf de felsite, blanc bleuâtre et rougeâtre, de Zeisigwalde, près de Chemnitz.
 B Tuf de felsite, blanc verdâtre, de Zeisigwalde.
 C Tuf de felsite, vert prononcé, de Zeisigwalde.
 D Thonstein, gris bleuâtre et rougeâtre, compacte, se divisant en prismes, de la carrière de la Croix, près de Chemnitz.

	Densité.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	2,812	75,16	12,43	3,63	trac.	»	6,24	1,62	1,37	100,45
B	2,025	76,37	13,04	3,13	»	»	4,59	1,07	1,56	100,73
C	2,879	61,32	28,30		»	»	6,04	1,95	1,85	99,96
D	2,764	77,40	14,78	»	trac.	0,15	6,54	1,15	0,63	100,65

La variété (C) a une belle couleur verte, devient brun rouge par calcination et s'attaque complètement par l'acide sulfurique; elle paraît avoir la composition de la substance que M. Knop a nommé *Pinitoïde* (1).

Toutes ces roches contiennent beaucoup plus de potasse que de soude, ce qui semble bien indiquer qu'elles résultent de la destruction de roches à base d'orthose. D'après leur gisement elles proviennent sans doute de la trituration des porphyres quartzifères du Rothliegende.

Quant au thonstein, sa composition montre qu'il peut être considéré comme un tuf métamorphique, formé de débris de porphyre, qui aurait perdu un peu d'eau et pris la structure prismatique.

Tuf de palagonite.

Java. — En examinant des collections envoyées de Java par M. Junghuhn, M. O. Pröls (2) a reconnu qu'un tuf friable, contenant des cristaux d'augite et ayant la structure d'un grès, est essentiellement formé de palagonite.

Peridotite.

Dunite.

La montagne de Dun, dans la Nouvelle-Zélande, est constituée par une roche particulière, en relation intime avec des massifs de

(1) *Jahrbuch der Geognosie*, II, 600, etc.

(2) *Neues Jahrbuch*, 1861 : 6^e liv., 434.

serpentine, et à laquelle M. de Hochstetter (1) a donné le nom de *Dunite*.

Elle a l'éclat gras ou vitreux, la cassure inégale et écailleuse. Sa dureté est 5,5; sa densité, 3,295. Elle est infusible au chalumeau, et presque entièrement décomposée par l'acide chlorhydrique. Elle présente des grains qui sont cristallins et clivables. En outre elle contient toujours du fer chromé.

Les analyses exécutées, (I) par M. Schrötter, (II) par M. Nadelung, ont appris que la Dunite est du péridot en roche.

	SiO ₂	MgO	FeO (*)	H ₂ O	Somm.
I	42,80	47,38	9,40	0,57	100,15
II	42,80	46,80	10,09	0,49	100,17

(*) Traces de nickel et d'oxyde de cobalt.

Au mont Dun, la Dunite et la serpentine sont traversées d'après M. de Hochstetter, par des veines d'hypérite fournissant de beaux cristaux d'hypersthène lamelleux.

Déjà le péridot avait été rencontré dans l'hypérite et surtout dans la Lherzolithes où, comme l'a reconnu M. Damour, il est accompagné de deux espèces de pyroxènes (2); on le trouve aussi dans les schistes talqueux de l'Oural et de la Norwège; on conçoit donc qu'il soit également associé à la serpentine, et c'est d'ailleurs ce qui avait été constaté précédemment.

Toutefois la dunite mérite d'être signalée d'une manière spéciale; car elle démontre bien que le péridot peut être associé à la serpentine et qu'il se forme dans les mêmes conditions que des roches qui ne sont aucunement volcaniques; il prouve de plus que le péridot peut constituer de véritables massifs et même des montagnes.

Roches feldspathiques plutoniques.

Granite.

Écosse. — M. le professeur Haughton (3) a fait l'analyse de deux granites de l'Écosse.

(1) *Zeit. d. deut. géol. Ges.*; XVI, 341.

(2) *Revue de Géologie*, III; 114.

(3) *Quarterly Journ. of the geological society*, XX, 268.

A Granite grossier composé de beaucoup de quartz, d'orthose rose, d'oligoclase blanc avec un peu de mica noir et quelquefois de sphène, de Torberry.

B Granite à grain moyen avec quartz, oligoclase blanc strié et beaucoup de mica noir, de Strontian.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	Somme.
A	70,60	16,40	1,52	0,36	0,48	2,47	1,00	4,14	4,29	101,26
B	62,00	17,60	4,78	0,74	0,40	4,95	3,17	4,06	3,25	100,97

Le granite de Strontian est exceptionnellement pauvre en silice, et au contraire riche en chaux et en magnésie; il ressemble à celui du Comté Donégal (1).

M. Haughton comparant les granites de l'Irlande avec ceux de la Suède, indique qu'ils se rapprochent, non-seulement par leur structure, mais encore par leur composition minéralogique.

Carlsbad. — Le granite de Carlsbad, qui est bien connu des minéralogistes, est traversé par des filons d'un deuxième granite qu'on observe notamment à la montagne des Trois Croix. M. Scherer (2) a fait l'analyse de ces deux granites qui diffèrent beaucoup par leurs caractères minéralogiques, car le 1^{er} (A) est à gros grain, tandis que le 2nd (B) est à grain fin.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
A	74,87	12,00	2,73	1,00	0,26	5,73	2,46	99,14
B	74,30	14,50	1,78	0,50	0,46	5,76	2,31	99,31

On voit que ces granites diffèrent très-peu dans leur composition chimique; si le 1^{er} a plus d'oxyde de fer et de magnésie, cela tient ce qu'il est plus riche en mica. Tous deux présentent d'ailleurs même teneur en silice que le gneiss rouge de l'Erzgebirge duquel nous allons parler.

1 *Revue de Géologie*, III, 118.

Verhandlungen des Bergmännischen Vereins zu Freiberg. Berg und hüttenmännische Zeitung, 1864, 414.

Gneiss.

Saxe. — Les gneiss classiques de l'Erzgebirge Saxon ont été décrits par plusieurs géologues, notamment par MM. Naumann, de Cotta, et analysés par M. le Professeur Schéerer; récemment, ils ont encore été étudiés par M. Jenzsch (1) qui a comparé les densités de leurs feldspaths.

On en distingue deux variétés, le gneiss rouge (A) et le gneiss gris qui est le plus récent (B).

Toutes deux peuvent d'ailleurs prendre la structure glanduleuse comme dans le gneiss que l'on appelle en Allemagne Augengneiss.

Voici, d'après M. Schéerer, la composition du gneiss rouge de Kleinschirma (A).

Celle du gneiss gris a été donnée précédemment d'après M. Schéerer (Revue de géologie III, 120); mais nous citerons encore ici l'analyse d'une variété de ce gneiss faite par le Dr Rube sur un échantillon qui se distingue par une richesse un peu plus grande en soude et qui provient de Müdisdorf (B).

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	KO	NaO	H ₂ O	Somme
A	75,74	"	13,25	1,84	0,08	0,60	11,11	4,86	2,12	0,89	99,77
B	64,99	1,45	15,70	6,27	traces.	2,27	2,00	2,79	3,18	1,90	100,46

La différence dans la composition chimique de ces deux gneiss est bien tranchée et ressort immédiatement de la comparaison de leurs analyses.

Si l'on examine la composition minéralogique des gneiss de l'Erzgebirge, on trouve qu'ils présentent du quartz et des micas ainsi que deux feldspaths. Le principal feldspath est l'orthose (Pegmatilite de Breithaupt), toutefois il est accompagné d'anorthoses. Les couleurs de ces derniers feldspaths sont généralement différentes et varient depuis le blanc et le gris jusqu'au rouge plus ou moins vif. M. Jenzsch qui a trouvé 2,53 à 2,63 pour la densité de l'anorthose du gneiss rouge, admet que c'est de l'albite (tetartin); d'autre côté, dans le gneiss gris la densité de l'anorthose reste comprise entre 2,63 et 2,65, ce qui indique de l'oligoclase.

Les lithologistes allemands nomment le gneiss rouge de l'Erzgebirge saxon, Tetartin-Gneissit; et le gneiss gris, qui est le plus récent Oligoklas-Gneissit.

(1) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1894, 361.

Gneiss protogynique.

Suède. — M. Erdmann (1) a donné le nom de gneiss protogynique (protogyn-gneiss) à une roche de Suède qui est composée d'orthose rouge, de quartz gris et de deux micas. De même que dans la protogyne type du mont Blanc, l'un de ces micas est semblable au talc, tandis que l'autre, rappelant la chlorite, est vert foncé, sans éclat et très-riche en fer (2).

Cette roche fait avec les acides une certaine effervescence, et en même temps de la silice gélatineuse se sépare.

La formation du gneiss protogynique de la Suède paraît devoir être attribuée au métamorphisme d'une grauwacke schisteuse, dont il a souvent l'aspect. Des conglomérats l'accompagnent, et la région dans laquelle il domine est remarquable par les dislocations éprouvées par ses couches au milieu desquelles sont intercalés plusieurs massifs granitiques.

Gneiss ferrifère.

Suède. — Enfin on rencontre, dans la même contrée, en stratification concordante avec le gneiss protogynique une autre variété de gneiss qui est appelée ferrifère (Jerngneiss).

C'est un gneiss rouge avec petits grains octaédriques de fer oxydulé; il contient d'ailleurs des couches plus ou moins puissantes de gneiss gris avec grenat ou amphibole.

Les deux variétés du gneiss de la Suède desquelles nous venons de parler s'observent bien dans les provinces de Westrogothie et de Dalsland dont l'exploration a eu lieu récemment sous la direction de M. le Professeur Erdmann.

Orthophyre.

M. Sterry Hunt (3) a donné le nom d'*orthophyre* à un porphyre à base d'orthose qui forme des dykes dans la syénite du comté de Grenville dans le Canada.

Sa pâte est pétrosiliceuse, et il renferme des cristaux d'orthose rouge de chair avec du quartz translucide.

L'échantillon analysé présentait une pâte noire verdâtre, ressemblait au jaspe et offrait une cassure conchoïde avec un éclat un peu gras. Sa densité était 1,62. Cette pâte contenait :

(1) *Neues Jahrbuch*, 1864, 641.

(2) Delesse : *Recherches sur la Protogyne*, *Bulletin de la Société géologique* (3), VII, 230.

(3) *Americ. Journ.*, XXXVIII, 93.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	KO	NaO	Matières volatiles.	Somme.
72,28	12,50	3,79	0,90	3,33	5,30	0,80	99,00

Le rapport entre l'oxygène des alcalis et de l'alumine est de 1,01 à 5,84 ou à peu près de 1 : 3, comme dans les feldspaths.

Ce porphyre est simplement une variété d'eurite porphyrique dont la structure est cristalline et qui ne paraît pas contenir de mica.

Diorite.

Donégai. — Trois variétés de diorites provenant du comté de Donégai, en Irlande, ont été analysées par M. Haughton (1).

- A Diorite formée d'hornblende noire et de feldspath verdâtre; elle traverse grès carbonifère à Doonane.
 B Diorite avec hornblende et feldspath blanc, de Kilrean.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	H ₂ O	Somme.
A	50,08	18,84	7,05	1,03	0,88	12,37	6,57	2,39	0,57	0,40	100,51
B	44,40	25,00	6,45	2,11	0,54	10,17	3,51	2,58	2,66	1,00	100,32

Ces roches sont désignées par M. Haughton sous le nom de syénite; mais comme elles n'ont pas d'orthose et sont essentiellement formées d'anorthose avec de l'hornblende, nous les avons appelées diorites conformément à l'usage suivi en France.

Diorite micacée.

Pressbourg. — Auprès de Pressbourg, une diorite micacée apparaît en contact avec un granite. La pénétration des deux roches est très-intime; aussi MM. d'Andrian et Ch. Paul (2) considèrent-ils avec raison cette diorite comme résultant d'une simple séparation de l'élément amphibolique, qui serait survenue pendant la consolidation du massif granitique.

(1) *Quarterly Journ. of the geological society*, XX, 268.

(2) *Jahrb. d. k. k. Reichsanstalt*, 1861, 335.

Donégal. — C'est encore à la diorite micacée qu'il convient de rapporter une roche analysée par M. Haughton (1) et provenant du Lough Anure dans le comté de Donégal.

Elle est à grain moyen, composée d'hornblende avec mica noir et un feldspath blanc qui paraît être de l'oligoclase.

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	HO	Somme.
49,26	16,32	7,12	1,95	1,00	0,72	7,11	1,02	1,72	1,29	99,26

Observons que la roche du Lough Anure présente à très-peu près la même composition chimique que la diorite micacée de Clefcy, analysée par M. Delesse (2).

Cette dernière est bien connue dans les Vosges où son inaltérabilité et sa couleur noire la font rechercher dans la marbrerie, spécialement pour les monuments funèbres. L'étude de son gisement montre d'ailleurs qu'elle passe insensiblement à une roche granitique dont elle est une dégradation extrême; tandis que l'orthose disparaît peu à peu, l'oligoclase augmente et avec lui le mica ainsi que l'amphibole.

Tonalite.

Au centre du massif de l'Adamello, qui sépare le Tyrol de la Lombardie, M. Vom Rath (3) a trouvé une roche granitique, qui est certainement très-voisine des diorites, mais dont la composition lui a paru assez particulière pour justifier l'adoption d'un nom nouveau, celui de *tonalite*; ce nom est dérivé du Mont Tonale, où la roche est le plus facilement accessible.

La tonalite est formée par un mélange de quartz, de feldspath anorthose, de mica ferro-magnésien et d'amphibole.

Le feldspath qui la constitue offre deux clivages faisant entre eux un angle de 95°. Il est intermédiaire par sa composition (I, II) entre l'andésine et le labrador; car le rapport de ses quantités d'oxygène est $\div 1 : 3 : 7$. Précédemment le même résultat avait déjà été obtenu pour plusieurs feldspaths (4).

(1) *Quarterly Journ. Geol. Society*, XX, 258.

(2) *Annales des Mines*, 4, XIX, 159. — Roth: *Die Gesteins Analyse*, 26.

(3) *Zeits. d. deut. geol. Gesellschaft*, XVI, 249.

(4) Delesse: *Annales des mines*; 4^e série XVI, 327.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	Perte à 100°	Total.
I	56,79	25,48	»	3,56	0,40	0,34	0,10	0,24	100,91
II	58,15	26,55	»	3,66	0,06		0,28	0,20	100,90
III	66,91	15,20	0,45	3,73	2,35	0,86	3,33	0,16	98,99

La composition chimique et minéralogique de la tonalite (III) indique qu'on doit la classer entre le granite et la diorite.

C'est une roche qui est très-constante dans tout le massif de l'Adamello.

Parmi les particularités qu'elle présente dans son gisement, M. Vom Rath (1) signale un grand nombre de parties noires presque uniquement composées de mica et d'amphibole. De plus elle est entourée de schistes micacés redressés. Elle contient d'ailleurs de l'orthite et quelque fois du sphène ainsi que du fer oxydulé.

Nous ferons observer que, malgré la présence de l'orthite et du sphène, la tonalite de M. Vom Rath peut encore être considérée comme une variété de diorite micacée; elle ne diffère guère de celles de Clefey et de Donégall que par une plus grande richesse en quartz.

Roches feldspathiques volcaniques.

Trachyte.

M. G. Vom Rath (2) a signalé de l'orthite dans des blocs du Laacher See qui contiennent de l'orthose sanidine et appartiennent à une variété de trachyte.

Voissières.— Le trachyte de Voissières dans les Monts-Dore a été analysé par M. Kossmann. Il est blanchâtre ou gris clair, à pâte finement grenue, contenant du mica brun tombac et de l'hornblende. L'orthose sanidine (I) ayant été séparé, autant du moins que c'était possible, de la pâte (II), l'analyse de ces deux parties de la roche a donné les résultats suivants :

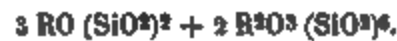
(1) *Naturwissenschaftliche Gesellschaft Isis zu Dresden*, 1863, 193.

(2) *Zeitschrift d. d. geologischen Gesellschaft*, XVI, 670.

	Densité.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	NaO	KO	Perte au feu.	
I	2,60	67,20	17,72	0,56	0,77	0,14	6,47	7,69	"	99,95
II	2,58	71,72	14,95	1,23	1,13	0,43	6,07	4,63	0,12	100,58

Comme les lamelles de sanidine de Voissières se fondent dans une pâte qui est riche en silice, leur teneur en silice doit, par cela même, être un peu augmentée, tandis que celle de la pâte se trouve au contraire diminuée.

Pour la pâte (II) de ce trachyte, les rapports d'oxygène de RO, R²O³, SiO² sont d'ailleurs entre eux $\div 1:2:12$, en sorte qu'on peut la représenter par



Montréal. — Les trachytes abondent au Canada et particulièrement dans les environs de Montréal. M. Sterry Hunt (1) les divise en trachytes granitoïdes et trachytes ordinaires.

- I, II. Feldspath du trachyte granitoïde des monts Bronne et Shefford; roche composée de beaucoup de feldspath, d'un peu de mica et d'amphibole, avec sphène et fer oxydulé. La proportion du mica et de l'amphibole ne dépasse pas quelques centièmes de la masse totale.
- III, IV. Feldspath du trachyte granitoïde du mont Yamaska, un peu plus micacé que le précédent; il n'y a pas d'amphibole, mais un peu de sphène et de fer oxydulé.
- V. Orthose en grands cristaux du trachyte porphyrique de Chambly.
- VI. Résidu de l'attaque, par l'acide nitrique, du même trachyte. Sauf un léger excès de silice, la pâte présente la même composition que les cristaux.
- VII. Partie inattaquée du trachyte de M^r Gill College près Montréal. Cette roche fait effervescence, même avec l'acide acétique, qui dissout 0,8 p. 100 de carbonate de chaux.
- VIII. Partie inattaquée d'un trachyte semblable au précédent. Une variété voisine a donné 7,40 p. 100 de carbonate de chaux.
- IX. Partie inattaquée du trachyte de Mile End, contenant des cristaux d'amphibole et plus de 11,60 de carbonate de chaux.

(1) *American Journal*, XXXVIII, 95.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	KO	NaO	MgO	Fe ₂ O ₃	Matières volatiles.	Somme.
I	65,70	20,80	0,84	6,43	6,52	"	"	0,50	100,19
II	65,15	20,55	0,73	6,39	6,67	"	"	0,50	99,99
III	61,10	20,10	2,65	3,54	5,93	0,79	2,00	0,40	96,51
IV	68,60	21,60	5,40	3,08	5,51	1,84	2,33	0,80	108,16
V	66,15	19,75	0,95	7,58	5,19	"	"	0,51	100,18
VI	67,60	18,30	0,45	5,10	5,85	"	1,40	0,35	96,95
VII	63,26	22,12	0,50	5,92	6,29	"	"	0,93	99,02
VIII	62,90	23,10	0,45	2,43	8,69	"	"	1,40	98,97
IX	61,62	21,00	2,60	4,86	5,35	"	"	2,31	97,9

On voit que les trachytes des environs de Montréal contiennent habituellement du carbonate de chaux, minéral qui est exceptionnel dans cette roche.

Déjà cependant il avait été indiqué dans certains trachytes de la Hongrie, particulièrement dans un échantillon décomposé, analysé par M. de Hauer.

Dôme.

Puy-de-Dôme. — Le dôme est grenu, souvent friable et contient des feldspaths, du mica ferro-magnésien brun tombac, du fer oligiste, et quelquefois de l'hornblende. L'un de ses feldspaths dont les cristaux sont mats présente dans la cassure l'éclat vitreux; et M. G. Rose a reconnu sur son clivage principal les stries fines qui caractérisent l'anorthose. Une analyse des grains de cet anorthose tirés dans le dôme du Puy-de-Dôme a montré de plus à M. Kossmann que c'est de l'oligoclase (I).

L'analyse de la pâte du même dôme a également été faite par M. Kossmann (1), après que le mica et les cristaux d'oligoclase avaient été enlevés aussi bien que possible (II).

(III) représente la composition du dôme calculée d'après les deux analyses précédentes et d'après un dosage de silice de la roche, en admettant qu'on néglige sa petite quantité de mica. Enfin, (IV) donne la composition d'un dôme du Puy-de-Dôme qui a été analysé par M. Bogen dans le laboratoire de M. Streng (2).

(1) *Zeitschrift d. d. geologischen Gesellschaft*, XVI, 664.

(2) *Berg und Hüttenmannische Zeitung*, 1861, 66.

Densité.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ (Fer oligiste.)	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	P ₂ O ₅	Cl	HO	Somme.
2,61	63,23	21,76	1,77	"	"	0,69	3,00	"	7,20	2,12	"	"	0,33	100,10
2,62	68,46	15,04	2,46	0,30	0,14	0,08	1,41	0,58	4,42	4,52	2,01	0,29	0,16	99,93
2,60	66,28	17,84	2,35	"	0,08	0,33	2,07	0,34	8,60	3,53	1,17	0,17	0,23	99,98
"	69,94	15,80	"	"	3,17	"	1,79	1,60	0,79	1,32	"	"	"	100,41

Dans la pâte (II) les rapports d'oxygène de RO, R²O³, SiO² sont à peu près entre eux $\div 1:3:14$; par suite elle se laisse représenter par la formule



Observons maintenant que la pâte renferme plus de potasse que desoude et que, d'un autre côté, sa teneur en silice est supérieure à celle de l'orthose; aussi, indépendamment de l'oligoclase, MM. Roth et Kossmann indiquent-ils de l'orthose dont on rencontre, en effet, des cristaux.

Du reste le dômite présente d'assez grandes variations dans sa composition chimique; car un autre échantillon analysé précédemment par M. Lewinstein, contenait seulement 61 de silice; en outre le rapport entre l'oxygène des bases et celui de la silice s'élevait à 0,497 comme dans l'andésite (1).

Il est assez remarquable que le dômite, roche éruptive bien caractérisée, contienne autant d'acide phosphorique. Quant au chlore, sa présence s'explique facilement par le dégagement de chlorure de fer qui, décomposé par la vapeur d'eau, a dû produire en même temps les lamelles disséminées de fer oligiste.

Phenolite.

Montréal. — Un phonolithe en relation avec les dykes trachytiques de Lachine, près Montréal, a été étudié par M. Sterry Hunt (2). Il présente une pâte rougeâtre, avec petites cavités remplies de carbonate de chaux, dans laquelle sont disséminées des masses rondes d'un blanc verdâtre. Sa densité est 2,414.

I. Partie vert-rougeâtre.

II. Parties rouges et parties vertes mélangées.

(1) Roth: *Die Gesteins Analysen*; 32.

(2) *Americ. Journ.*, XXXVIII, 101.

L'analyse indique :

	I.	II.
Silicate soluble dosé par différence.	44,57	34,16
Id. insoluble.	45,75	55,49
Carbonate de chaux.	3,83	4,36
Id. de fer.	3,52	3,72
Id. de magnésie.	0,53	0,36
	100,00	100,00

Le silicate soluble paraît être de la natrolite; et le résidu insoluble contient 9,16 de potasse, 2,97 de soude, avec 59,70 de silice.

Il importe d'ailleurs d'observer qu'aux environs de Montréal, le phonolite et le trachyte renferment une proportion très-notable de carbonates.

Téphrine.

Volvic. — La lave de Volvic, désignée par Brongniart sous le nom de Téphrine, présente un type de roche volcanique bien connu à cause de son emploi fréquent dans les constructions.

Elle est poreuse, gris rougeâtre ou violacée; très-souvent le fer oligiste l'imprègne fortement et l'on y rencontre aussi du fer magnétique. Quelquefois elle contient des lamelles de feldspath anorthose ainsi que de l'hornblende.

(I) a été analysé par M. Kossmann (1).

(II) a été pris par M. Delesse au fond d'une carrière ouverte sur la coulée de Volvic; c'est une variété celluleuse qui forme la base de la coulée et qui étant difficile à travailler ne s'exploite pas pour les constructions. M. H. Sainte-Claire Deville l'a fait analyser dans le laboratoire de l'École Normale par M. Brunhes, l'un de ses élèves.

(1) *Zeitschrift d. d. geologischen Gesellschaft*, XVI, 663

Densité.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ⁴ O ⁷	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	Perte au feu.	P ₂ O ₅	Somme.
2,730	62,64	20,13	1,34	2,92	1,95	0,37	4,17	6,52	3,47	2,69	0,11	traces.	104,04
2,685	57,30	24,30	3,80	"	"	"	3,90	1,70	4,30	3,70	0,40	"	99,40

roches de Utano.

Calculant les rapports d'oxygène pour le silicate seulement, dans l'analyse de M. Kossmann, l'on trouve

$$RO : R_2O_3 : SiO_2 = 1 : 3 : 10,$$

ce qui conduit à la formule

$$(RO)_3 (SiO_2)_5 + (Al_2O_3)_3 (SiO_2)_{10}.$$

D'après la composition de la lave de Volvic son feldspath doit être de l'oligoclase comme dans plusieurs laves analysées précédemment par M. Charles Sainte-Claire Deville. C'est d'ailleurs une roche moins riche en silice que le dômite; elle est intermédiaire entre la trachyte avec oligoclase du Drachenfels et l'andesite avec hornblende de Wolkenburg (Bischof) (1).

Trachydolérite.

Java. — Les principales roches volcaniques de l'île de Java ont été envoyées à M. Bunsen par M. Junghuhn et analysées dans son laboratoire par M. Otto Pröls (2).

- A Trachydolérite presque compacte, à pâte gris clair, avec petits cristaux de feldspath et d'amphibole hornblende; c'est probablement une variété du timazite de Breithaupt (3). Cette roche constitue le volcan Patna dont la hauteur s'élève à 2,400 mètres, et elle appartient aux parties les plus anciennes de l'île.
- B Trachydolérite, gris clair, montrant un mélange grenu d'oligoclase et d'hornblende; il forme presque entièrement le volcan Mèrapi.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
A	58,35	17,09	10,61	7,03	3,90	0,93	2,12	100,42
B	57,00	20,53	8,76	6,46	1,70	1,46	2,84	99,75

(1) Roth: *Die Gesteine — Analysen*; 21 et 22.

(2) *Neues Jahrbuch*, 1856, 4^e liv., 426.

(3) *Revue de Géologie*; 11, 83.

Laves.

Les différentes laves qui ont été analysées appartiennent à l'Auvergne, au Pic de Teyde, à l'île de Java.

Clermont.—Voici, d'après M. Kossman (1), la composition de laves rejetées par deux volcans des environs de Clermont.

- A** Lave grise, à grain très-fin et à pâte cristalline, avec cristaux d'augite, périclote, apatite et fer oxydulé, dont la présence se constate très-facilement sur une plaque polie; l'acide sulfurique l'attaque presque complètement en vase clos et à une température de 190 degrés.— Prise dans la vallée de Royat, à la coulée du Puy de Collière.
- B** Lave grise, à pâte finement grenue, contenant des cristaux indiscernables de feldspath, quelques petits grains d'augite et d'oxyde de fer magnétique. Sous le microscope, on distingue du périclote et de l'apatite. Dans ses cavités, on voit un feldspath anorthose, beaucoup de paillettes de biotite et du mica. Comme la précédente, elle fond très-difficilement au chalumeau; attaquée par l'acide chlorhydrique, elle donne un résidu de 70 p. 100.— Prise près de Pontgibaud, à la coulée du Puy de Côme.

	Densité.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Fe ² O ⁺	FeO	MnO	CaO	MgO	NaO	KO	P ₂ O ₅	C. P.
A	2,98	50,31	22,95	"	4,87	1,73	0,93	8,19	5,29	4,30	1,00	0,58	0,25
B	2,89	53,81	19,29	1,48	5,85	2,11	1,80	5,38	3,24	4,55	1,95	0,68	0,25

* Partie adhérente au barreau aimanté.

Lorsqu'on retranche de ces laves les parties qui sont enlevées par l'aimant, celle de Collière se laisse approximativement représenter par



celle de Côme par



En résumé, la lave de Côme diffère peu de celle de Collière; plus riche en silice et en alcalis, elle est au contraire plus pauvre en chaux, en magnésie et en alumine.

Comme on devait s'y attendre ces deux laves sont essentiellement feldspathiques; leur examen sous le microscope, ainsi que leur composition minéralogique et chimique, portent d'ailleurs à croire qu'elles sont à base de feldspath labrador.

(1) *Zeitschrift d. d. geologischen Gesellschaft*, XVI, 657.

Les résultats de leurs analyses sont d'accord avec ceux fournis précédemment par d'autres analyses de laves.

Ténériffe. — La dernière éruption du Pic de Teyde, à Ténériffe, est déjà assez éloignée, car elle remonte à l'année 1789; la lave rejetée par cette éruption a été analysée dans le laboratoire de M. Bunsen par M. W. Laszczynski (1).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ² O ₃	CaO	MgO	KO	NaO	Somme.
51,76	16,64	14,06	3,15	3,21	1,31	4,88	100,11

Java. — Diverses roches volcaniques de Java ont encore été analysées par M. O. Pröls (2) et nous mentionnerons particulièrement les suivantes :

- A Dolérite gris de fumée, légèrement celluleuse, à pâte basaltique, renfermant des cristaux de labrador et d'augite. Elle se présente en bancs qui ont souvent plus de 30 mètres de puissance au plateau de Segala-Erang.
- B Dolérite semblable à la précédente, mais contenant moins d'augite et ayant des grains de périclote. Elle forme des coulées puissantes qui ont été rejetées par le volcan Slamet, dont la hauteur atteint 3.300 mètres, et elle recouvre à son pied des dépôts assez modernes.
- C Lave gris bleuâtre, compacte, à pores très-fines, contenant des grains de périclote. Elle constitue la principale masse du volcan Slamet et appartient aux roches volcaniques les plus anciennes de Java.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	HO	Somme.
A	52,11	15,19	14,33	7,41	3,48	0,82	2,32	3,93	99,59
B	49,47	18,04	13,19	11,84	5,40	0,48	2,07	"	100,49
C	53,47	29,86		9,69	4,64	0,35	1,06	0,03	91,60

M. Pröls appelle spécialement l'attention sur la grande ressemblance des roches de Java avec celles d'autres régions volcaniques qui en sont cependant très-éloignées.

(1) *Neues Jahrbuch*, 1864, 4^e liv., 456.

(2) *Neues Jahrbuch*, 1864, 4^e livraison.

Ainsi, le trachydolélite (timazite) de Patna, dont la composition a été donnée précédemment, ne diffère pas de celui d'Étrahvols en Islande qui a été analysé par M. Bunsen ; comme ce dernier l. se laisse représenter par 1 de trachyte normal mélangé avec 1,568 de roche pyroxénique normale.

De même la dolérite (B) du Slammat se rapproche beaucoup du trapp d'Eaja en Islande.

Enfin la lave (C) de ce volcan offre la même composition que celle de Kalmanstunga dans laquelle M. Bunsen a trouvé 1 de trachyte et 5,117 de roche pyroxénique.

Scorie filamenteuse.

On sait que le volcan brûlant de l'île Bourbon projette dans l'atmosphère une scorie vitreuse qui s'étire en fils très-fins, due d'une grande légèreté. Il était intéressant de connaître la composition de cette scorie volcanique exceptionnelle, et M. Henri Sainte-Claire Deville l'a fait analyser, dans le laboratoire de l'École normale par un de ses élèves, M. Burat (1).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	MgO	KO	NaO	Somme
52,10	21,30	10,30	10,0	1,00	0,50	4,80	100,0
O...27,07	9,96	2,35	2,80	0,39	0,09	1,23	$\frac{RO + RO_2}{SiO_2} = 1,42$

Bien que cette scorie soit vitreuse, il importe de remarquer qu'elle diffère entièrement de l'obsidienne. Sa composition la rapproche assez d'une lave noire, qui a été rejetée par le Vésuve en mai 1855, et analysée par M. Charles Sainte-Claire Deville (2). Elle n'a donc aucun rapport avec le type trachytique, et elle diffère au contraire très-peu du type pyroxénique.

Il est très-rare que des scories volcaniques, aussi basiques, présentent la structure vitreuse ; mais la rapidité du refroidissement que les filaments fondus de Bourbon éprouvent au contact de l'air explique bien cette exception. Du reste, un phénomène analogue s'observe aussi dans les hauts fourneaux ; car lorsque la force du vent est trop grande, il arrive quelquefois que le laitier donne des filaments vitreux et microscopiques qui voltigent dans l'usine.

(1) L'analyse a donné un excès de 1 p. 100 ; mais pour avoir des résultats comparables avec les analyses dont les excès sont différents, elle a été rapportée à 100.

(2) Roth : *Die Gesteins Analysen*, 25.

Banatites.

M. de Cotta (1) a donné le nom de *Banatites* à un groupe de roches éruptives qui affleurent, dans le Banat, la Hongrie et la Serbie, suivant une ligne dirigée du nord au sud.

Ces roches ont été rapportées jusqu'ici à diverses variétés, granite, syénite, diorite, timazite, aphanite, diabase, porphyrite, minette; et en effet, minéralogiquement, elles se rapprochent plus ou moins de l'un ou l'autre de ces types, mais elles sont si intimement liées sous le rapport géologique, que M. de Cotta croit devoir les réunir sous le nom de *Banatites*, désignant par là, non pas une roche ayant une composition minéralogique définie, mais un ensemble de variétés venues au jour en même temps, avant les basaltes et certainement après l'époque jurassique, vraisemblablement même après la période crétacée.

Les éléments essentiels des Banatites sont le feldspath et le mica, auxquels viennent s'associer l'amphibole et le quartz; on peut encore citer le fer oxydulé, le sphène, le pyroxène et l'épidote. La teneur en silice varie entre 54 p. 100 (à Csiklova) et 67 p. 100 (à Dognacska). Le grain est tantôt cristallin, tantôt porphyrique, tantôt compacte.

Les Banatites ont traversé les calcaires jurassiques, en donnant lieu à la transformation du calcaire en marbre, et à la production d'une roche de contact (granatfels), formée de grenat, d'idocrase, de wollastonite, de trémolite, de chaux carbonatée bleue, de fer oligiste.

Enfin c'est à l'éruption des banatites qu'il faut encore rapporter l'origine des gîtes de pyrite, de galène, de blende et de fer oxydulé qu'on trouve dans la contrée.

M. de Cotta insiste sur l'extrême variabilité du type des banatites, qui prouve bien que des roches venues au jour par une même fente et à la même époque peuvent présenter des différences considérables dans leur composition et leur teneur en silice. Il est vrai, ajoute-t-il, que ces différences pourraient tenir à la nature des roches traversées, qui sont, tantôt des micaschistes, et tantôt des calcaires.

L'ouvrage de M. de Cotta est accompagné de coupes, faisant

(1) *Erzlagerstätten in Banat et Serbien.*

connaître la disposition des banatites par rapport aux roches avoisinantes.

Observons maintenant que l'usage a bien imposé quelquefois un même nom à des roches ayant une composition minéralogique différente; c'est, par exemple, ce qui a lieu pour le trapp de l'Angleterre ou pour l'ophite des Pyrénées. Mais les lithologistes tendent cependant de plus en plus à définir chaque roche par sa composition minéralogique et non pas seulement par ses caractères géologiques ou par son âge. Des roches présentant absolument la même composition minéralogique accusent un ensemble de conditions identiques qui ont d'ailleurs pu se reproduire à des époques géologiques fort différentes et très-éloignées l'une de l'autre. Il est donc regrettable qu'un même nom soit appliqué à des roches offrant des caractères minéralogiques aussi opposés que les Banatites; car cet exemple était suivi, une nouvelle nomenclature basée sur l'âge des roches tendrait à s'établir et par suite elle compliquerait beaucoup la nomenclature existante.

MÉTÉORITES.

Minéraux des météorites.

La présence du protosulfure de fer (FeS) dans les météorites, déjà soupçonnée par Berzélius, a été confirmée par des analyses de M. le professeur C. Rammelsberg (1), exécutées sur des météorites de Seelassen, de Juvenas et de Sevier County (Tennessee). Dans celle de Juvenas, le protosulfure est associé à des cristaux de pyrite magnétique. M. C. Rammelsberg propose d'appliquer à ce minéral le nom de *troilite*, indiqué précédemment par M. Haidinger.

M. Haidinger (2) a également décrit une pierre qu'on prétend être météorique et qui serait tombée le 26 décembre 1863 à Trébizonde. On y observe de petits grains de pyrolusite et de plus un minéral qui paraît être de la braunite; mais son origine n'est pas authentique.

(1) *Zeits. d. deut. geol. Ges.*, XVI, 267.

(2) Académie des sciences de Vienne, 23 avril 1864.

Fer météorique.

Styrie. — Un fer météorique, trouvé anciennement en Styrie, a été examiné par MM. Kennigott et Haidinger (1). Il contient du nickel et des silicates qui sont en petits grains cristallisés et qui appartiennent au périclote ainsi qu'à l'enstatite.

Dakota. — Dans le territoire indien de Dakota, on a trouvé un bloc de fer météorique pesant environ 50 kilogrammes, dont un fragment a été analysé par M. Jackson (2). Il a obtenu

Fe	Ni	Co	Sn	Ph	Somme.
91,735	7,080	traces.	0,063	0,09	98,958

Tuscon. — Un fer météorique trouvé à Tuscon (États-Unis) et signalé par M. Whitney à M. Haidinger (3) présente une roche de fer granuleuse qui est mélangée d'une petite quantité de silicates.

Météorites.

Atakama. — Une météorite du Chili, qui provenait de la province d'Atakama, a été analysée par M. Joy (4). Elle contient une forte proportion de matière pierreuse mélangée aux métaux.

	Fe	Ni	Co	Cu	S	Ph	Mn	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	SiO ₂	Somme.
Partie soluble dans les acides. (1,19 p. 100.)	79,83	7,17	1,23	0,06	3,95	0,17	0,55	5,02	8,55	1,80	0,04	99,97

	SiO ₂	MgO	FeO	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	NiO, Co	Somme.
Partie insoluble. (31,81 p. 100.)	65,84	13,45	14,42	1,40	1,10	3,07	1,01	0,23	99,82

La partie pierreuse paraissait renfermer deux silicates ressemblant, l'un au périclote, l'autre au labrador.

(1) Académie des sciences de Vienne, 28 avril 1864.

(2) *Americ. Journ.*, XXXVI, 259.

(3) *L'Institut*, 1864, 55.

(4) *Americ. Journ.*, XXXVII, 243.

Tourinnes. — Une météorite tombée à Tourinnes-la-Grosse, en Belgique, a été analysée par M. Pisani (1). Elle présente la composition suivante :

Fer avec nickel, étain et traces de phosphore. . . .	3,47
Pyrite.	6,06
Fer chromé.	0,71
Silicates.	84,28
Somme.	94,52

Par l'acide chlorhydrique ces silicates se séparent en deux parties, la première attaquable (I), la deuxième inattaquable (II).

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	NaO, KO	Somme
I.	17,10	0,73	10,35	19,80	0,64	0,03	48,65
II.	27,20	3,59	6,18	9,12	2,45	2,65	51,19

La partie attaquable présente la composition du périclase, que la partie non attaquable donne à peu près le rapport 2 à 1 de l'oxygène de la silice et des bases.

Orgueil. — Une pluie de météorites est tombée le 14 mai 1864, autour du village d'Orgueil, qui est situé sur la rive gauche du Tarn, à 15 kilomètres au sud-sud-est de Montauban. Leur examen minéralogique a été fait par MM. Daubrée, Leymarie et Des Cloizeaux, et leur analyse par MM. Cloez et Pisani (2).

La météorite d'Orgueil est vitrifiée à sa surface et a pour densité 2,567. Sa composition minéralogique est très-remarquable. Elle est d'abord riche en carbone graphitique dont elle contient environ 6 pour 100. On y observe beaucoup d'oxyde de fer magnétique, 4 pour 100 de pyrite magnétique, des silicates et, en outre, 9 pour 100 d'eau qui paraît bien être de l'eau de constitution.

Signalons surtout un carbonate de magnésie et de fer dont la présence a été reconnue par MM. Des Cloizeaux et Daubrée. Ce carbonate est une variété de braunnerite qui a cristallisé en rhomboïdes obtus dont l'angle est compris entre 105° et 107°. Il est d'ailleurs disséminé dans toute la masse de la météorite.

Tendre et friable, la météorite d'Orgueil se réduit au contact de

(1) *Comptes rendus*, 1864, 15 décembre.

(2) *Comptes rendus de l'Académie*, 1864.

l'eau en une poudre qui est tellement ténue qu'elle traverse les filtres les plus épais. Cette propriété tient à ce qu'elle renferme environ 5 pour 100 de substances salines qui lui servent de ciment et qui se dissolvent alors dans l'eau. M. Cloez y a indiqué une proportion très-notable de chlorhydrate d'ammoniaque et, en outre, des chlorures de potassium et de sodium, du sulfate de magnésie, du sulfate de chaux; jusqu'à présent ces différents sels et les carbonates n'avaient pas été signalés dans les météorites.

L'alcool extrait encore une matière organique de la météorite d'Orguell, et déjà précédemment l'existence de matières organiques azotées avait été constatée dans ces roches (1).

Tous les caractères de cette météorite, particulièrement la présence de l'eau, de matières organiques et de sels volatils, montrent bien qu'elle n'avait pas une très-haute température dans son intérieur, quoiqu'elle ait d'ailleurs été vitrifiée à sa surface.

— Diverses communications sur les météorites ont encore été faites par M. Haidinger, et on les trouvera dans les comptes rendus de l'Académie des sciences de Vienne.

ROCHES MÉTALLIFÈRES.

Les roches métallifères ont une importance exceptionnelle et plusieurs recueils périodiques s'occupent spécialement de leur étude; indépendamment des *Annales des Mines*, nous mentionnerons le *Bulletin de la Société de l'Industrie minière* publié à Saint-Étienne, la *Revue universelle des Mines* de Liège, le *Journal des Mines et usines* de MM. Bruno Kerl et Fr. Wimmer (2), les *Études sur les gîtes métallifères* de MM. B. de Cotta et H. Müller (3), le *Nouvel annuaire pour la minéralogie et la géologie* de MM. G. Léonhard et B. Bruno Geinitz (4), l'*Annuaire des mines et des usines* pour Leoben, Schemnitz et Pzibram rédigé par M. l'ingénieur en chef Johann Grimm (5), la *Revue des Mines* de

(1) Delessa : *Recherches de l'azote et des matières organiques dans l'écorce terrestre*.

(2) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*.

(3) *Gangstudien oder Beiträge zur Kenntnis der Erzgänge*.

(4) *Neues Jahrbuch*.

(5) *Berg und Hüttenmännisches Jahrbuch der K. K. Berg Akademien zu Leoben und Schemnitz und der Montanlehranstalt zu Pzibram*.

Madrid (1), *l'American Journal*, le *Mining Journal*, les publications de l'*Institut impérial géologique de Vienne* (2), enfin celles du *Geological Survey* qui fournissent des documents sur les gîtes métallifères de l'Angleterre et de ses nombreuses colonies. C'est dans ces recueils qu'on trouvera les découvertes les plus récentes faites sur les gîtes métallifères, découvertes que les limites de cette Revue nous obligent à résumer brièvement. Nous donnerons seulement avec détail les communications qui nous ont été faites personnellement par quelques ingénieurs chargés de diriger des exploitations de mines. Nous y joindrons les extraits de rapports inédits adressés par MM. les Agents consulaires de France à M. le Ministre des Affaires Étrangères.

Les minerais seront d'ailleurs classés d'après les métaux qu'ils fournissent et en suivant l'ordre géographique adopté dans cette Revue.

Fer.

Saint-Girons. — D'après M. Mussy (3), entre Folx et Saint-Girons, des amas de fer oxydulé magnétique se trouvent dans les ophites et vers la limite du trias. Ils sont très-irréguliers et leur puissance est au plus de 1^m, 2. L'un de ces amas a été exploité aux environs de Mercenac.

Dans le bassin de Massat, il existe aussi des gîtes non recouverts de minerais de fer dont M. Mussy a donné la description; ils présentent habituellement des hématites associées au quartz.

A Bajen et à la montagne d'Escarol on trouve du fer oxydulé magnétique ainsi que de la pyrite de fer.

Ces gîtes sont d'ailleurs peu importants.

Oberneisen. — A Oberneisen, près de Diez, dans le duché de Nassau, M. C. A. Stein (4) a décrit un gîte d'hématite qui se trouve en contact avec un porphyre. Son mur est formé par ce porphyre qui est tantôt dur, tantôt décomposé; tandis que son toit est un porphyre devenu argileux (thonporphyr) qui contient encore des parties non altérées.

(1) *Revista minera.*

(2) *K. k. geologische Reichsanstalt.*

(3) *Société de l'industrie minière*, 1864, X, 2^e et 3^e liv.

(4) *Neues Jahrbuch*: 1861, 490. — *Berg und Hüttenwesen in Nassau*, I. 1.

Le minéral consiste en hématite rouge argileuse et pailletée (Eisenrahm) dont la teneur en fer, varie entre 51 et 62 p. 100.

Certains rognons enveloppés par le minéral ont une structure oolitique. Vers le toit du gîte, on rencontre de l'oxyde brun de manganèse et de la limonite fournissant un minéral de bonne qualité.

La limonite a quelquefois pseudomorphosé des cristaux de dolomie. Dans certains endroits, elle est au contraire imprégnée de silice, en sorte qu'elle passe au quartz corné (hornstein). Ses druses sont aussi tapissées de manganèse carbonaté.

Le gîte a été reconnu sur 1 000 mètres de longueur et 700 mètres de largeur.

Bohême. — La grauwaacke silurienne de la Bohême contient de nombreux gîtes de minéral de fer, qui ont été étudiés récemment par M. Lipold (1). Après avoir donné pour les principaux gîtes des descriptions détaillées, accompagnées de coupes géologiques, l'auteur est entré dans des considérations générales qu'il nous paraît utile de résumer.

Les gîtes en question sont tous situés à la partie supérieure du système silurien inférieur, dans l'étage d¹ de M. Barrande. M. Lipold a senti la nécessité de subdiviser cet étage en trois systèmes de couches qui sont, en commençant par le haut :

	Maximum de la puissance.
3 ^e Couches de Rokycan.	30 mètres.
2 ^e Couches de Komorau.	40 mètres.
1 ^e Couches de Krásnáhora.	30 mètres.

Au-dessus des couches de Rokycan viennent d'ailleurs celles de Brda, l'étage d² de M. Barrande.

Les minerais de fer sont tous situés dans les couches de Komorau et de Rokycan; ils ont donc pour toit les couches de Brda, et pour mur celles de Krásnáhora; par suite, la connaissance exacte de ces deux étages est d'un haut intérêt pour le mineur: heureusement leur composition est très-nettement définie, aussi bien sous le rapport minéralogique que sous celui des fossiles; elles constituent donc deux horizons excellents.

Les couches de Komorau se composent de schistes, souvent rubanés, et ayant une couleur pâle, avec des tufs et des grès tuffacés, accompagnés, dans presque tous les gisements, de spilites (schal-

(1) *Jahrbuch d. k. k. g. Reichsanstalt*, 1886, 329.

stein) et de diabases amygdaloïdes. On y trouve l'*Orthia desiderata*. La plupart des minerais appartiennent à cette assise. Ce sont des hématites rouges et du fer spathique, en lits bien définis.

Les couches de Rokycan sont des schistes micacés, de couleur foncée, et contiennent de nombreux fossiles, notamment des trilobites : *Ilcanus Katzeri*, *Dalmanites atavus*, *Harpes primus*, *Barande*. On y trouve aussi des grapholites. Les minerais de cette assise consistent en sphérosidérite, qui forme des lentilles, des rognons et aussi des lits puissants, et qui, dans le voisinage du jour, est transformée en hématite brune.

La plupart des exploitations possèdent de 2 à 4 couches de minéral superposées. La puissance de ces couches varie depuis 1 mètre jusqu'à 20 mètres.

La teneur en fer métallique est de 20 à 30 p. 100 pour l'hématite brune; de 30 à 40 p. 100 pour la sphérosidérite, et de 40 à 50 p. 100 pour l'hématite rouge. La plupart des sphérosidérites contiennent des traces nettes de vanadium.

Considérés dans leur ensemble, les gîtes de fer de la grande Bohême forment une grande cuvette qui a été plus ou moins bouleversée. L'étendue de ce bassin paraît immense, et sa richesse est, pour ainsi dire, impossible à évaluer.

Ile de Sardaigne. — M. Giordano (1), ingénieur des mines italien, s'est occupé de l'étude des minerais de fer de l'île de Sardaigne.

Ces minerais sont surtout abondants dans la partie sud-ouest de l'île dans laquelle ils forment des espèces de filon-couches ou mieux des amas qui sont enclavés dans le terrain silurien et dans le granité.

Sur la côte ouest, le minéral consiste le plus souvent en oligiste compacte et en hématite brune luisante.

Les gîtes les plus importants se trouvent dans la partie sud-ouest où le minéral est un oxyde magnétique qui est très-recherché pour la fabrication du fer acideux. Une compagnie française en a entrepris l'exploitation avec succès.

Le minéral est d'ailleurs encaissé entre des schistes contournés et grenatiformes qui ont subi un métamorphisme énergique.

Ces gîtes de la partie sud-ouest de la Sardaigne présentent plus grande analogie avec ceux de Bone en Afrique, et ils paraissent appartenir à la même zone ferrifère. Leur importance mé-

(1) Lettre adressée à M. Delesse.

lurgique est très-grande; car étant riches et de bonne qualité, ils peuvent concourir à l'alimentation des hauts fourneaux de la France et des bords de la Méditerranée.

Étain.

La Villeder. — Les gîtes d'étain de la Villeder près Ploermel (Morbihan), déjà décrits par MM. Élie de Beaumont, Blavier Lorieux, ont été visités récemment par M. L. Simonin (1).

« A 12 kilomètres sud-ouest de Ploermel se trouve la commune du Roc-Saint-André. En ce point se développe, de l'Est à l'Ouest, une bande granitique enserrée dans les schistes anciens; elle s'étend jusqu'à Locminé, sur une longueur de 30 kilomètres, et sa largeur maximum est de 10 kilomètres. Sa cote moyenne au-dessus du niveau de la mer est de 105 mètres.

« Vers le point de contact du granit et des schistes partent, du pied d'un vieux moulin dit de la Villeder, trois filons quartzeux, réunis entre eux par des veines transversales, et paraissant se rejoindre en profondeur. On peut en suivre l'affleurement sur plus de 4 kilomètres.

« A la Villeder, les trois filons, d'une épaisseur de 1 à 3 mètres, occupent une largeur totale de 35 mètres; la distance du premier au second étant de 10 mètres et celle du second au troisième de 25 mètres. Ces intervalles sont remplis par les schistes.

Du minéral d'étain oxydé est disséminé dans ces filons, surtout sur les salbandes où il se montre en beaux cristaux; on l'y rencontre associé avec de la tourmaline. Dans la masse, il y a d'ailleurs des mouches d'oxyde d'étain et de tourmaline. Le filon principal, étudié jusqu'au delà de 50 mètres de profondeur, a toujours présenté cette même allure.

« Les filons sont peu inclinés, et leur direction marche sur 20 degrés à l'ouest du méridien astronomique.

Dans le même district on signale aussi d'autres filons parallèles ou obliques aux premiers, par exemple à Maupas et à la Villaulan.

« En relation avec les filons de la surface, on rencontre, dans les vallées adjacentes, des alluvions stannifères, où l'oxyde d'étain affecte diverses couleurs passant du brun chocolat au jaune paille,

(1) Communication de M. L. Simonin.

même au rose clair. Les alluvions les plus riches sont surtout répandues autour des communes de Lizio et de Saint-Servan.

« Dans ces alluvions, Durocher a trouvé en 1851 de l'or en paillettes, et même aussi du mercure en globules. On s'explique difficilement la présence de ce dernier métal. Il n'en est pas de même de l'or, compagnon assez habituel de l'étain et spécialement des filons quartzeux. Les paillettes aurifères sont d'ailleurs peu abondantes et peu volumineuses. Leur grosseur maximum atteint celle d'un grain de millet.

« Le gîte de la Villeder occupe, en y comprenant les alluvions, une étendue de plus de 20 000 hectares. Il semble se relier à celui de Penestin (en breton la pointe ou le cap de l'étain) et finir qu'on rencontre à l'embouchure de la Villaine et de la Loire, sur le rivage même de l'Océan. Tout cet ensemble comprend un des districts métallifères les plus curieux qu'on puisse étudier en France.

« Ces mines ont du reste été fouillées dès la plus haute antiquité à l'époque où les marins de Tyr venaient charger l'étain à l'embouchure de la Loire. De vastes excavations à ciel ouvert, des débris de scories parsemées de globules d'étain, enfin divers objets tels que des haches de pierre ou de bronze, témoignent amplement de la vérité de cette assertion.

« Les Bretons avaient perdu jusqu'à la tradition de ces anciens travaux, arrêtés probablement à l'époque des invasions barbares, quand en 1834 un hasard fit retrouver la mine d'étain de la Villeder. Actuellement l'attention se porte de nouveau sur cette mine. »

Graupen. — D'après M. Laube (1), les gîtes d'étain de Graupen se divisent en trois catégories :

1° Les filons principaux (*Hauptgänge*), dont l'inclinaison est faible, et dont la puissance varie entre 5 et 12 centimètres : le minéral d'étain s'y montre seul, ou bien accompagné de mica, de chaux fluatée, de fer oligiste, de kaolin. Le toit des filons est tapissé d'étain sur 5 à 8 centimètres, le mur n'en contient jamais.

2° Les *Gefährte*, plus inclinés que les précédents, et aussi plus réguliers, ne contiennent guère que de l'oxyde d'étain;

3° Les filons verticaux (*Stehende*), de 1/2 à 8 centimètres, de

(1) *Jahrb. d. K. K. Reichsanstalt*, 1864, 189.

le remplissage consiste en fragments de quartz réunis par un ciment, avec beaucoup de pyrite.

Les espèces minérales qu'on rencontre à Graupen sont la dolomie, la chaux fluatée, l'apatite, le mica, le kaolin, la malachite, le wolfram, l'hématite rouge, le fer oligiste, le bismuth, la galène, le molybdène sulfuré, l'oxyde de cuivre, les pyrites de fer, de cuivre et le mispickel.

Les gîtes d'étain de Graupen apparaissent dans le gneiss, au voisinage du porphyre feldspathique qui doit être considéré comme la roche stannifère.

Schlaggenwald. — A Schlaggenwald, selon M. Rücker (1), le minéral d'étain se présente à la fois en amas et en filons.

Les amas sont formés par ce qu'on appelle le granite stannifère (*Zinngranit*), lequel diffère du granite ordinaire par une moindre quantité de feldspath, par la nuance claire de son mica, par la prédominance du quartz et la présence d'éléments accessoires.

Le minéral est finement disséminé; mais on le trouve aussi en rognons et en veinules.

Il y a trois systèmes de filons. Un système dirigé vers le nord-est et formé de filons de quartz, avec oxyde d'étain sur les saie-bandes ou dans des druses.

Un second système, peu incliné comme le premier, contient l'étain plus concentré.

Le troisième est celui du Hahnengebirge, qui n'est plus exploité.

Les amas doivent sans doute leur origine au granite.

Quant aux filons, leur formation est très-compiquée : tout ce qu'on peut admettre comme certain, c'est qu'ils ont emprunté la matière qui les constitue au granite stannifère.

Karimon. — D'après M. Dach (2), l'île Karimon, près de Malacca, contient des gîtes d'étain qui établissent la transition entre les riches régions stannifères de Malacca, de Banka et de Billiton.

L'île est formée principalement de granite et d'hyalomicta. Dans toutes les vallées il y a du reste des galets de quartz hyalin avec tourmaline. On retrouve donc les roches qui sont associées au minéral d'étain en Saxe et en Angleterre.

La partie méridionale de l'île, ainsi que la côte, sont constituées

(1) *Jahrb. d. K. K. Reichsanstalt*, 1864, 311.

(2) *Berg. und Hutt., Zeitung* XXII, 337.

par des couches alternatives de sable et de kaolin, dans lesquelles l'on rencontre le minéral d'étain, accompagné de cristaux de pyrite de fer et de grains arrondis de pyrolusite.

Zinc.

Haute-Silésie. — On exploite à Beuthen, dans la Haute-Silésie, un gîte de calamine qui est bien connu par les descriptions de plusieurs géologues, particulièrement par celles de MM. de Carnall et Krug de Nidda. D'après M. Tantscher (1), il est situé à la limite du muschelkalk et de la dolomie qui lui est superposée. La calamine s'est déposée dans les anfractuosités et dans les fissures du calcaire à *terebratula angusta*, supérieur aux couches à *terebratula vulgaris*. Elle forme des rognons dans une argile marneuse et, dans son voisinage, la dolomie présente un aspect décomposé.

M. Tantscher pense que le gîte calaminifère doit être dû au lavage et à l'entraînement, par les eaux, de la blende qui se trouve originairement contenue dans la dolomie. Mais cette explication semble peu admissible; car, dans le voisinage et même à l'intérieur du gîte en question, on trouve de la galène qui n'a subi aucune altération.

Cuivre.

Alderley. — M. Hull (2) a décrit sommairement un gîte de minéral de cuivre exploité à Alderley, dans le Cheshire.

Le minéral, sous la forme de carbonate vert ou bleu, se trouve disséminé dans un grès formant la base des marnes irisées et qui doit être le grès bigarré, le muschelkalk manquant en Angleterre. Il est associé à du carbonate de plomb et à des oxydes de cobalt, de manganèse et de fer.

De même que dans les gisements analogues de Saint-Amand et de Vaudrevange, le cuivre est dissous dans un acide et précipité par la cémentation (3).

(1) *Neues Jahrbuch*, 1861, 482.

(2) *Geol. Mag.*, 1, 85.

(3) *Revue de géologie*, II, 106.

Huelva. — Les mines de cuivre de la province Huelva, dans le sud de l'Espagne, sont importantes, et aux renseignements déjà donnés sur leur gisement dans les Revues des années précédentes (1), nous ajouterons ceux qu'a publiés M. Schönicke (2).

La roche dominante de la contrée est un schiste argileux appartenant à l'étage de la grauwacke. Les couches sont relevées suivant une direction ouest-nord-ouest, qui est aussi celle d'un grand nombre d'affleurements de porphyres dioritiques; dans le voisinage des porphyres apparaissent de puissants amas de pyrite de fer contenant toujours de 2 à 4 p. 100 de cuivre.

Ces amas ne forment ni des filons, ni des couches, mais présentent une grande analogie avec le gîte du Rammelsberg au Hartz; ce sont des lentilles dont la longueur varie entre 80 et 700 mètres, la puissance étant comprise entre 15 et 100 mètres. Leur partie supérieure est constituée par un chapeau de fer. La masse entière présente des surfaces de séparation parallèles aux couches de la roche encaissante, et dont les parois sont tapissées par des cristaux microscopiques.

Il est à remarquer que, quand les porphyres dioritiques se trouvent en contact avec la pyrite, la séparation se fait suivant des surfaces nettes; et, sur plusieurs mètres, la roche est si fortement imprégnée de silice, qu'il devient très-difficile d'y ouvrir des galeries. Au contraire, le passage des schistes aux pyrites se fait toujours très-graduellement.

Singbhum. — On a récemment exploité, sur la limite sud-ouest du Bengale, dans la province de Singbhum, un gîte remarquable de cuivre, qui, d'après la description donnée par M. Stohr (3), présente les particularités suivantes :

1° Les minerais cuprifères forment un système de gîtes parallèles, s'étendant sur une longueur d'au moins 60 milles anglais, et intercalés parallèlement aux couches des schistes anciens.

2° Ces gîtes portent la trace de nombreux bouleversements et de fréquents plissements.

3° La masse du filon, nettement distincte de la roche encaissante, consiste principalement en matières siliceuses, quelquefois même en quartz pur : c'est par conséquent le quartz qui forme la gangue du minéral.

(1) *Revue de géologie*, tome II, 101, et tome III, 146.

(2) *Berg. und Hütt. Zeitung*, XXII.

(3) *Neues Jahrb.*, 1864, 179.

4° L'arrangement du minerai dans les gîtes ne paraît assujéti à aucune loi; mais il y a partout un chapeau de fer (gossan).

Tandis que dans les parties supérieures on trouve de la malachite et de l'hématite brune, dans la profondeur on rencontre du cuivre oxydulé, du cuivre sulfuré, du fer oxydulé et du fer oligiste.

5° Les parties riches alternent avec des parties tout à fait stériles, aussi bien en longueur que suivant l'inclinaison; on pourrait donc considérer le minerai comme distribué en lentilles.

6° Les gîtes en question paraissent résulter du remplissage de fentes qui seraient contemporaines du soulèvement des montagnes de la contrée.

Lac Supérieur. — Les célèbres mines de cuivre du Lac Supérieur décrites déjà par plusieurs géologues, viennent de l'être de nouveau par Sir William Logan (1).

En résumant d'une manière très-sommaire les principales données acquises, dès à présent, on peut dire que le groupe aux environs du Lac Supérieur, se divise en deux autres étages, dont l'un est en stratification discordante.

L'inférieur est formé de schistes bleus dans lesquels sont intercalés des grès; le supérieur présente des grès, des calcaires, des marnolites, des conglomérats.

Ces deux étages sont accompagnés par des masses de trappes et par des amygdaloïdes qui sont visiblement stratifiées. Les cavités de ces roches sont remplies par les minéraux qu'on y rencontre habituellement; ils s'y succèdent d'ailleurs dans le même ordre que dans les mélaphyres des Vosges.

De nombreux filons traversent aussi les deux étages.

Dans l'étage inférieur dominent des filons de chaux carbonatée, baryte sulfatée, quartz avec un peu d'apophyllite. Les minéraux sont rares et essentiellement sulfurés; ce sont les pyrites de cuivre, de fer, la blende, la galène, l'argent sulfuré et aussi l'argent natif.

Dans l'étage supérieur les filons sont formés de chaux carbonatée, de quartz, de laumonite, de prehnite. Leur minerai est surtout le cuivre natif qui est généralement accompagné de prehnite et quelquefois d'épidote. Il y a aussi du cuivre panaché, ordinairement avec quartz, cuivre sulfuré, chaux carbonatée, laumonite, argent natif et galène.

(1) *Geological Survey of Canada.* — *Neues Jahrbuch*, 1861, 741.

Corocoro. — Les mines de cuivre de Corocoro, qui se trouvent sur les hauts plateaux de la Bolivie, ont été visitées par MM. Weddel, Punnett et récemment par M. Hugo Reck (1). Voici quelques renseignements, d'ailleurs assez vagues, que ce dernier voyageur donne sur leur gisement.

L'exploitation des mines de Corocoro est très-ancienne et remonte au temps des Incas; elle a même été pratiquée avec des instruments de pierre (granite ou trachyte) dont on retrouve encore les débris.

Dans les roches qui avoisinent la ville de Corocoro, il y a deux groupes bien tranchés; celui de l'Ouest est seul riche en cuivre; ses roches sont brun rouge foncé ou gris rougeâtre.

Le groupe de l'Est n'est pas métallifère. Il présente une argile rouge et un kaolin impur. Au-dessus vient du grès qui passe à un grès fin et schisteux.

Le minéral se montre en couches et en filons.

Les couches sont intercalées dans l'argile, dans du grès gris et dans des conglomérats avec lesquels elles sont en stratification concordante. Leur épaisseur varie de 0^m,50 à 2 mètres; elles contiennent du cuivre natif à l'état sableux, en plaques minces ou massives, ou bien en filaments capillaires.

Au Bon-Pasteur le gîte serait un filon dont la puissance atteindrait jusqu'à 12 mètres; il contient du cuivre et de l'argent natif; on y observe en outre de la malachite, de l'azurite, de la pharmacosiderite tyrolite de Haïdinger, du cuivre oxydulé, du cuivre arsenical, de l'argent arsenical, du cuivre sulfuré.

Du reste, dans les couches aussi bien que dans les filons, on trouve généralement du gypse qui est tantôt fibreux, tantôt en beaux cristaux; il a souvent été pseudomorphosé par le cuivre natif. Des bois et des ossements fossiles sont également pseudomorphosés par ce métal.

Aux environs de Corocoro la roche principale est une argile brun rouge qui est en bancs puissants et se distingue par sa grande richesse en gypse. Elle contient aussi du sel gemme. Cette argile repose sur des bancs épais fournis par un grès fin et grossier.

(1) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1864, 93.

Plomb.

Vialas. — M. Rivot (1) a publié le résumé de ses études sur les filons de galène argentifère de Vialas, dans la Lozère. Ce mémoire sera lu avec attention par tous ceux qui s'intéressent à l'exploitation des mines métalliques. Disons seulement ici qu'il démontre toute l'inexactitude du préjugé si répandu, qui veut que nos mines de France soient généralement inexploitable; la cause des insuccès observés jusqu'ici tient surtout au manque de persévérance et de traditions.

Les Argentières, Aulus. — La mine de plomb des Argentières trouve près de l'étang de Labant, arrondissement de Saint-Girons. D'après M. Mussay (2), elle est encaissée dans un calcaire foncé, légèrement cristallin, et près de son contact avec le gneiss. Ce calcaire contient fréquemment des mouches de fer carbonaté; de plus, il est traversé par des filons de quartz et c'est à l'un d'eux qu'est accolé l'amas métallifère, lequel est d'ailleurs peu important et très-irrégulier. Il présente un mélange de quartz, mica, spath calcaire, fer spathique, blende et galène; le tout est aggloméré par un ciment ferrugineux. Le minéral se compose de 2/3 blende et 1/3 galène contenant au plus 100 grammes d'argent au quintal.

A la mine de Laquorre, un gîte métallifère bien régulier est intercalé entre les couches; le calcaire forme son toit, le schiste son mur. Il contient plusieurs variétés de galène riche, du plomb carbonaté et de la calamine.

A Lauqueille ainsi qu'au Pouech-de-Guaiff, le gisement est analogue.

Ces gîtes ont donné lieu, à une époque reculée, à des exploitations de plomb argentifère très-importantes, connues sous le nom de mines d'Aulus.

Ile de Sardaigne. — Les recherches du général La Marmora et celles des ingénieurs qui ont exploré dans ces dernières années l'Ile de Sardaigne ont fait connaître les importantes mines de plomb qu'elle renferme. Résumons, d'après des renseignements qui nous

(1) *Annales des mines*, 6^e série, IV, 209.

(2) *Bulletin de la Société de l'industrie minière*, 1864, X, 2^e et 3^e livraisons.

ont été communiqués par M. Giordano (1), les principales particularités qu'offre leur gisement.

Les mines de plomb de l'île de Sardaigne se trouvent dans le terrain silurien qui recouvre en divers endroits le granite ancien formant la charpente générale de l'île. Ce silurien est constitué par une puissante formation de schistes satinés au-dessus desquels se trouve çà et là un étage calcaire ayant une structure semi-cristalline.

On distingue en Sardaigne trois sortes de gîtes suivant que le minéral présente : 1° des filons-fentes ; 2° des filons de contact ; 3° des filons-couches.

1° Les filons-fentes résultent du remplissage par le minéral de plomb de longues fentes bien caractérisées. Ils traversent la formation schisteuse en différentes directions et atteignent accidentellement une longueur de plusieurs kilomètres avec une puissance et une régularité fort remarquables. Citons comme exemple Montecchio et Ingustosa, près la côte ouest de l'île. Ces filons passent quelquefois des schistes dans le granite ; mais dans cette dernière roche on n'en connaît pas encore qui soient utilement exploitables.

La galène y est généralement cristalline et argentifère ; elle est accompagnée par de la blende et par quelques pyrites de fer ou de cuivre. Ses gangues pierreuses sont le quartz, le fer spathique, la baryte sulfatée et la fluorine. Celle-ci est surtout abondante dans certains filons de la partie orientale de l'île, tandis que le quartz domine dans les beaux filons de l'ouest. La richesse en argent dépasse rarement 80 grammes par 100 kilogrammes de minéral trié ; l'on a cependant rencontré des galènes beaucoup plus riches.

2° Les filons ou gîtes de contact présentent une espèce de conche métallifère encaissée entre les schistes siluriens et les calcaires anciens qui les recouvrent. Leur allure se montre assez régulière ; cependant le minéral se concentre généralement suivant des espèces de colonnes descendantes qui sont plus ou moins espacées. La galène pauvre en argent, est du reste assez pure et facile à fondre. Elle est accompagnée de gangues calcaires, barytiques et quartzieuses, ainsi que d'argiles ocracées fort abondantes. En plusieurs endroits la galène se trouve disséminée dans les calcaires supérieurs, mais d'une manière fort irrégulière et alors elle ne donne guère lieu à des exploitations profitables. Les gîtes de cette catégorie se rencontrent surtout près de la côte sud-ouest de l'île de Sardaigne.

3° Les filons-couches sont très-fréquents dans la même partie ouest

(1) Communication de M. Giordano à M. Delesse.

ou sud-ouest de l'île, partout où dominent les calcaires anciens.

Le minéral forme des masses plus ou moins irrégulières, intercalées entre les couches souvent fort redressées de ce calcaire qui, à leur approche, devient généralement jaunâtre et dendritique. Il est accompagné de carbonate et de sulfate de plomb, de beaucoup d'oxyde de fer, et souvent aussi de calamine. Ces minéraux oxydés proviennent de la décomposition des sulfures qui s'est étendue à une profondeur considérable à travers la masse fissurée des calcaires encaissants.

La galène avec sa gangue calcaire et ferrugineuse est très-fusible et sert même de fondant aux minerais siliceux ; toutefois elle est pauvre en argent, sa teneur ne dépassant pas 30 à 35 grammes par 100 kilogrammes. Au point de vue de la richesse et surtout de la régularité, ces gîtes présentent la plus grande variété.

À Monteponi, près Iglesias, le minéral a cependant une richesse en plomb qui est comprise entre 75 et 85 p. 100 ; il se trouve d'ailleurs concentré dans un petit nombre de couches qui sont voisines les unes des autres, en sorte que cette mine donne jusqu'à présent des produits considérables. Du reste, dans la plupart des autres gîtes en couches, le minéral se montre fort disséminé et souvent trompé l'espoir des explorateurs.

Les mêmes terrains anciens de la Sardaigne renferment encore des filons, des veines et des amas de pyrite de cuivre, de blende, d'antimoine sulfuré ; mais jusqu'à présent les recherches n'ont pas amené la découverte de gîtes qu'il soit avantageux d'exploiter.

Grande extension des filons barytiques et plombés.

Les filons barytiques et plombés ont été spécialement étudiés par le Directeur Général des mines de la Saxe, M. C. de Beust, qui s'est attaché à mettre bien en relief la grande généralité des phénomènes qui les ont produits.

Ces filons s'observent, en effet, sur de vastes étendues.

Très-développés dans les environs de Freiberg où ils sont devenus classiques, ils se poursuivent dans la partie occidentale de l'Erzgebirge ainsi que dans le Voigtland.

Maintenant on les retrouve dans le Riesengebirge ; car les filons de baryte sulfatée et de cuivre gris de Brixlegg leur appartiennent aussi bien que ceux de Rattenberg et de Schwaz.

(1) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, XXIII, 116. — Voir aussi *Bericht über die geologie* ; I, 109.

Les montagnes de la Forêt Noire ont encore beaucoup de filons barytiques et plombeux.

Ajoutons qu'ils sont également connus dans le sud de la France, en Alsace, aux environs de Lyon, dans le lias de la Bourgogne et dans le Languedoc jusque vers les Pyrénées.

En Angleterre les filons du Derbyshire se rattachent sans doute à cette formation; peut-être en est-il encore de même des filons du Rhin et du Hartz supérieur.

Enfin M. Gumbel a suivi depuis Regensbourg jusque dans le Fichtelgebirge des filons qui sont encaissés dans le gneiss, dans le granite ou bien dans le porphyre et qui paraissent appartenir à la même formation. En effet, ils se composent surtout de chaux fluatée, de quartz, de baryte sulfatée, l'un de ces minéraux pouvant prédominer et les autres disparaître complètement. Quant à leurs minerais, ils sont variables et alternativement plombeux, zincifères ou pyriteux.

Mercure.

La présence du mercure a été constatée par M. G. Dewalque (1) dans divers minerais; d'abord il l'a observé dans les canaux de condensation des fours à plomb de Corphalle.

Un minerai de zinc de Santander, composé de calamine, de blende et de galène, contenait également du mercure, qui y formait, à l'état de cinabre, de petites taches rouges.

Californie. — La découverte de mines de mercure en Californie, date à peu près de l'époque à laquelle la fièvre de l'or attirait dans le pays les flots de l'émigration étrangère (1848-1849), et elle a puissamment contribué au développement de l'industrie minière dans cette nouvelle contrée. Voici sur ces mines de mercure quelques renseignements techniques qui sont donnés par I. Cazotte (2), consul de France à San-Francisco.

La plus considérable est celle de New-Almaden. Elle est située à 10 milles au sud de San-Francisco, dans le comté de Santa-Clara, sur une montagne dont l'élévation est environ de 300 mètres. Des masses de basalte ou de trapp, d'amygdaloïdes et de grès, forment l'un des côtés de cette montagne; tandis que de l'autre, on rencontre des terrains constitués presque entièrement par un calcaire morphe. Ce calcaire est blanchâtre, cristallin et dépourvu de fossiles.

(1) Académie royale de Belgique, 2 juillet 1864.

(2) Extrait d'une dépêche adressée le 16 décembre 1864 à Son Excellence M. le Ministre des Affaires Étrangères.

C'est vers la jonction de ces deux terrains que se trouvent les gîtes les plus riches de cinabre. Ils sont disséminés dans cette zone de la montagne, dans laquelle ils forment des filons irréguliers et souvent interrompus.

La chaux carbonatée, le fer carbonaté, le quartz agate, les pyrites de fer et de cuivre, et enfin le mercure natif entrent dans la composition de ces filons.

Le minéral est rougeâtre et d'une extraction difficile. On est presque toujours obligé d'employer la poudre pour l'exploiter.

Le produit annuel de la mine de New-Almaden peut s'élever actuellement à environ 1.133.750 kilos de métal. Le minéral qu'elle fournit est d'un rendement moyen de 18 à 25 p. 100. Dans certaines cavités on a même trouvé des amas de cinabre qui ont donné jusqu'à 70 p. 100.

Dès à présent New-Almaden a surpassé en produit l'ancienne mine d'Almaden, en Espagne, qui est si célèbre et qui livre tous les ans à la consommation 907.000 kilos de mercure.

C'est dans le voisinage de New-Almaden que se trouvent les mines d'Enriqueta et de Guadalupe.

La première a donné, en 1860, 226.750 kilos de mercure. Depuis lors le minéral est venu à manquer, et actuellement les travaux ont été entrepris pour rechercher de nouveaux gisements.

La mine de Guadalupe a produit, en 1858, 54.420 kilos de métal; toutefois l'exploitation a été arrêtée pendant plusieurs années. On vient de reprendre les travaux, et l'on annonce la découverte d'un gîte faisant naître les meilleures espérances pour l'avenir. Il est composé de chaux carbonatée, d'oxyde de fer, de quartz, d'agate, de pyrite de cuivre, le tout fortement imprégné de mercure.

Sur plusieurs autres points de la Californie, il existe encore des gîtes de cinabre. Ainsi, dans le comté de la Merced, à environ 100 milles au sud-est de San-José, on a découvert la mine de New-Idria, qui a produit 272.100 kilos de mercure, en 1861.

Dans le comté de San-Luis Obispo, on a aussi commencé l'exploitation de la mine Joséphine dans un endroit situé à 800 mètres au-dessus de l'Océan, près de Pava-Kobles. Dans les endroits les plus riches du filon, le minéral donne de 8 à 12 p. 100 de mercure.

A 45 milles de Suisun, on exploite la mine du Lac (Lake mine) située dans le comté du même nom. Son rendement commence à avoir une certaine importance, bien que les chiffres constatant la production ne soient pas encore exactement connus.

Le mercure sert à extraire à peu près les deux tiers de l'or qu'il produit la Californie. On sait qu'on l'emploie aussi au traitement des minerais d'argent. Sa consommation annuelle en Californie

s'élève à peu près à 221.000 kilos. Dans l'État de Nevada, elle peut atteindre 119.000 kilos; ce qui donne, pour les deux États réunis, 340 000 kilos.

L'Oregon, les territoires d'Arizona, d'Idaho, de Washington et la Colombie britannique ne font venir de Californie qu'une quantité insignifiante de mercure. Du reste, on exporte tout le cinabre qui n'est pas utilisé pour l'exploitation des mines du pays.

D'après les relevés de la douane, les quantités de ce métal parties pour l'étranger, de 1853 à 1863, sont données par ce tableau :

Années.	Kilogrammes.
1853.	639.200
1854.	712.742
1855.	923.610
1856.	807.160
1857.	926.908
1858.	820.480
1859.	115.366
1860.	317.832
1861.	1.223.830
1862.	1.147.309
1863.	884.476
Total.	8.519.210

L'exportation, pour les onze dernières années, est donc environ de 8.519.210 kilos, sur lesquels 3.407.684 kilos ont été envoyés au Mexique, 2.839.714 kilos en Chine, 1.064.880 kilos au Pérou, et le reste, soit 1.206.932 kilos, s'est répandu dans divers pays, tels que l'Australie, le Chili, l'Angleterre, le Centre-Amérique, le Japon, Panama et New-York.

Valparaiso. — Des affleurements mercuriels ont été signalés à Valparaiso, au Chili, dans l'intérieur même de la ville et sur deux points différents. Quelques indications sont données sur ce sujet par M. Flory (1), consul général de France à Santiago.

Le mercure, qui se présente à l'état natif, est disséminé sous forme de globules adhérents à la surface des morceaux que l'on détache des affleurements; assez généralement, il n'apparaît pas dans la cassure même. On a reconnu qu'il est concentré dans des fissures très-minces et très-irrégulières de la roche. Une argile plus ou moins ferrugineuse remplit ces fissures, en dehors desquelles le mercure ne se montre plus qu'en très-faible proportion, ou même disparaît complètement.

(1) Extrait d'une lettre adressée à S. Exc. M. le Ministre des Affaires Étrangères par M. Flory, consul général de France à Santiago du Chili.

Or.

Pays de Galles. — Le pays de Galles renferme des minerais d'or sur lesquels nous avons déjà appelé l'attention (1).

Récemment M. Readwin (2) a signalé un filon de quartz aurifère auprès du lac Bala, dans le comté de Merioneth. Ce filon est orienté nord-est et plonge vers le sud. Il contient très-peu de sulfures étranges, et son quartz ressemble à celui de Clunes, en Australie. Si la richesse du filon continue dans la profondeur, son exploitation pourra se poursuivre.

Il est à remarquer que ce filon est encaissé dans le terrain silurien inférieur; de plus il est en relation avec des grès qui sont quelquefois tapissés par des incrustations de quartz aurifère.

Du bismuth natif a été indiqué par M. A. Breithaupt (3) dans le quartz aurifère du pays de Galles, qui contient, aussi nous l'avons vu, du tellure de bismuth (4).

Australie méridionale. — A Woodpoint, dans le Gippsland, M. G. Ulrich (5) annonce qu'on vient de découvrir du quartz aurifère très-riche. Il rend 10 à 50 onces d'or par tonne.

On y observe indépendamment de l'or, de l'antimoine sulfuré, de la pyrite de fer, de la galène, de la pyrite magnétique.

Ce quartz aurifère forme des filons ou des espèces de conches ayant 0",5 à 2",5 de puissance. Il est intercalé dans une masse de diorite dont l'épaisseur peut s'élever à 100 mètres, et qui suit la direction des schistes siluriens.

Les Alpes australiennes du Gippsland paraissent receler un grand nombre de gîtes aurifères.

Le lavage des sables aurifères à Yardrit-Goldfeld donne du zircon, ainsi que du saphir qui est bleu ou vert terne; cette dernière variété atteint quelquefois la grosseur d'une noisette. Au mont Eliza à 20 milles au sud de Melbourne, on trouve du fer titané, du wolfram, du rutile et même du rubis. Dans les Ovens, à Morses-Creek

(1) *Revue de géologie*; II, 115.

(2) *British Association*, 1863, trans. 36.

(3) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1864, 19.

(4) *Revue de géologie*, II, 115.

(5) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1864, 247.

les schistes aurifères contiennent de beaux grenats almandins. Enfin on y a surtout constaté, d'une manière bien certaine, l'existence de diamants dont le poids varie d'un demi à 2 carats.

Dans le district aurifère de Yadrît, M. Ulrich signale d'ailleurs des schistes siluriens avec graptolithes, notamment avec *phyllograptus*.

Colorado. — La région aurifère du Colorado a été visitée par M. G. A. Stetefeldt (1).

Il annonce que les principaux minerais se trouvent dans des filons traversant le granit; du reste ils consistent en pyrites de fer et en pyrites de cuivre, qui sont aurifères.

Les minerais de cuivre sont de beaucoup les plus riches.

Laidlaw's Hill. — A Laidlaw's Hill, on a rencontré une variété particulière de quartz en roche, à laquelle les mineurs ont donné le nom de quartz cylindrique (*barrel-quartz*), parce qu'il se présente sous la forme d'une couche horizontale plissée, dont la surface est couverte de côtes parallèles ayant l'apparence de bûches rangées les unes à côté des autres. M. Silliman Jr (2), en décrivant ce gisement, ajoute que la surface supérieure des plis est généralement revêtue d'une écorce d'oxyde de fer, contenant souvent des pépites d'or; et, dans le voisinage de l'oxyde, le quartz devient fréquemment aurifère.

La teneur en or n'est pas très-considérable; mais, en revanche, l'exploitation de ce quartz est très-facile.

Minerais divers.

Rammelsberg. — Les gîtes de pyrites du Rammelsberg, près de Goslar au Hartz, ont été étudiés depuis des siècles, et cependant les mineurs ne les connaissent pas encore complètement; ils sont loin surtout de pouvoir expliquer leur formation d'une manière bien satisfaisante. M. Bernhard de Cotta (3), qui a visité récemment ces gîtes avec M. Lehmann, en donne une description que nous allons résumer.

(1) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1864, 384.

(2) *Americ. Journ.*, XXXVIII, 104.

(3) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1864, 269. — Voir aussi von Cotta, *Die Lehre von den Erzkörpern*, 2^e partie, p. 102.

Les pyrites du Rammelsberg n'appartiennent pas à un gîte unique; elles forment une série de lentilles qui sont intercalées dans le schiste argileux devonien. Ces lentilles sont à peu près parallèles entre elles et en même temps à la stratification, ainsi qu'à la schistosité; souvent elles sont si rapprochées l'une de l'autre, qu'un simple filet de schiste les sépare, en sorte qu'elles paraissent être réunies.

C'est la pyrite de fer, dit M. B. de Cotta, qui constitue la masse principale des gîtes; mais un peu de pyrite de cuivre lui est mêlée. Dans certaines parties cependant, la pyrite de cuivre, la pyrrhène et aussi la blende peuvent devenir dominantes. Quelquefois encore il y a dans la masse du minéral, du cuivre gris, de la baryte sulfatée, de la chaux carbonatée, du quartz; de plus, dans la partie décomposée, et notamment dans les anciennes mines, on trouve des sulfates de fer, de cuivre, de zinc, le botryogène, la romérite, la voltaïte, la copiapite, le gypse, ainsi que du plomb carbonaté sulfaté dans les schistes du toit.

Outre le fer, le cuivre, le plomb, il existe dans les gîtes du Rammelsberg douze autres métaux, qui sont: le zinc, le bismuth, le mercure, le cadmium, le manganèse, le cobalt, l'antimoine, le nickel, l'or et le sélénium.

Tous les minéraux sont compactes ou légèrement grenus, et il est très-rare d'y observer des druses. Des miroirs à stries parallèles s'y rencontrent au contraire assez souvent. En résumé, la composition minéralogique de ces gîtes métallifères est beaucoup plus simple que cela n'a lieu habituellement.

Le mont Rammelsberg est d'ailleurs constitué par les trois étages inférieurs du terrain devonien du Hartz, qui sont le grès à spirifères, les schistes à caléoles, les schistes de Wissembach. Toutefois les couches y sont complètement renversées; en sorte que l'étage le plus récent, celui des schistes de Wissembach, dans lequel est intercalé le minéral, forme maintenant la base de la montagne et se trouve recouvert par les deux autres étages.

Saint-Andreasberg. — Les gîtes métallifères de Saint-Andreasberg n'ont pas moins contribué que ceux du Rammelsberg à rendre le Hartz célèbre parmi les mineurs. D'après M. Hermann Credner, voici comment l'on peut résumer les faits principaux qui les concernent.

(1) *Zeitschrift d. d. Geologischen Gesellschaft*, XVII, 163.

L'important district de mines de Saint-Andreasberg présente une zone étroite de schistes et de grauwake, dans laquelle sont intercalés des filons métalliques. Elle est bornée au nord par un massif éruptif de granite (1), et, au sud, par un amas de grunstein.

Les filons sont formés en partie de minéral de fer et de pyrite de cuivre, en partie de minerais d'argent, qui sont eux-mêmes nettement séparés par un troisième système de filons spéciaux que l'on a nommés les *ruschels*.

Ces derniers ont une puissance qui dépasse plusieurs mètres; ils sont remplis de débris schisteux; leurs saibandes sont épaisses et consistent en argile grise et plastique; ils forment d'ailleurs un ellipsoïde étroit et allongé; de plus ils se réunissent dans la profondeur, enveloppant d'une sorte de manteau un coin de schiste argileux.

Le schiste dont les couches se dirigent vers l'heure 6,4 de la boussole allemande, et plongent environ de 75° vers le sud, a été traversé par quelques injections de diabase. Cette diabase est gris verdâtre, grenue, à base d'oligoclase, et elle contient des grains arrondis d'augite, ainsi que des lamelles de chlorite.

Les filons d'argent s'étendent seulement dans l'intérieur de l'ellipsoïde, limité par les deux principaux *ruschels*; par suite, ils ont peu de longueur et de puissance, bien qu'ils se continuent jusqu'à une profondeur considérable. Leur gangue dominante est la chaux carbonatée.

Les minerais les plus importants qu'ils renferment sont: la galène, la blende, l'argent rouge, l'antimonilber, l'arséniure d'argent et l'arsenic natif. Parmi les minéraux qui les accompagnent on peut citer: l'apophyllite, l'harmotome, le desmine, la stibite et la chaux fluatée. Ce remplissage reste le même pour tous les filons, et ses variations tiennent seulement à l'introduction de quelques minéraux rares.

Les filons d'argent se rapportent à deux directions, l'une vers le nord, l'autre vers l'ouest: de plus, ils plongent au nord et au nord-ouest, en sorte qu'ils se croisent et se rejettent souvent.

Du reste, il peut arriver que tel filon croiseur devienne dans la profondeur le filon croisé, et aussi que deux filons se rejettent en même temps.

Les *ruschels* coupent tantôt les filons et tantôt les côtoient sur une certaine longueur. Dans aucun cas, les filons d'argent ne se continuent au delà de la limite extrême des *ruschels*.

(1) *Revue de géologie*; III, 113.

Les filons de fer se trouvent surtout au Königsberg et à l'Eisensteinberg; ils sont remplis d'hématite rouge, compacte, et d'un peu de limonite concrétionnée (glaskopf).

Avec les filons de pyrite de cuivre et les filons de cobalt, ils marquent une zone qui est sensiblement parallèle à la limite de granite.

M. Credner appelle spécialement l'attention sur la grande ressemblance que le district minier de Przibram présente avec celui de Saint-Andreasberg.

Il observe, au contraire, que les districts de Clausthal et de Zellerfeld diffèrent complètement de celui de Saint-Andreasberg, à quel ils sont cependant très-peu éloignés.

Banat, Servie, Hongrie. — A la suite d'un voyage dans le Banat, la Servie et l'est de la Hongrie, M. Bernhard de Cotta (1) a donné la description des gîtes métallifères de ces contrées.

Les gîtes étudiés sont ceux de Neu-Moldova, Szaszka, Căbră, Oravica, Dognacska, Moravica, Cilva-Zapului, Petris, etc. au Banat;

Milova-sur-Maros, Rézbánya, en Hongrie;

Golubac, Kuczaina, Rudnik, Maldanpek, Rudna-Clava, en Serbie;

Lyupkova, dans les confins militaires.

M. de Cotta a formulé lui-même les résultats de ses observations et nous les résumerons ainsi qu'il suit :

Les roches éruptives du Banat ou banatites (voir page 366), près de leur contact avec les calcaires, sont accompagnées de gîtes métallifères irréguliers, riches en sulfures et en fer oxydé.

Ces gîtes se divisent en deux catégories, suivant qu'ils ont été formés directement ou par décomposition.

1° Les premiers sont dus à des dépôts produits par des dissolutions, après l'éruption des banatites; on y trouve des pyrites de fer et de cuivre, de la galène, du fer oxydulé, de la blende, du cuivre gris, du mispickel, de l'or, des minerais d'antimoine et de molybdène. Les gangues sont le quartz et la chaux carbonatée.

2° Les autres proviennent de la décomposition des premiers et contiennent surtout de l'hématite brune, de la calamine, du cuivre carbonaté.

Tous ces gîtes sont des amas irréguliers ou des imprégnations; ils se trouvent vers la limite ou dans le voisinage des roches éruptives, la plupart du temps dans le calcaire, mais quelquefois aussi

(1) *Erszlagerstätten in Banat und Serbien*, 1864.

le calcaire et les schistes micacés. Leur direction dominante est nord-sud. Les gîtes réguliers et les filons manquent absolument.

La forme irrégulière des gîtes provient, d'une part, des crevasses produites dans le calcaire par le soulèvement des roches éruptives; d'autre part, de l'action exercée sur le calcaire par les dissolutions chimiques, dont l'apparition, sans doute sous la forme de sources thermales, représente la dernier terme de l'activité plutonique, marquée par le soulèvement des banatites.

L'âge de ces gîtes se place entre la période crétacée et l'époque éocène.

Enfin, les gisements du Banat sont essentiellement des gîtes de contact, semblables à ceux de Bogoslawsk, de Schwarzenberg, de Chessy et de Christiania.

M. B. de Cotta ajoute que la disposition des régions métallifères le long d'une zone de plus de 15 kilomètres permet de croire que, dans les parties du Banat où l'on n'a pas constaté l'existence des minerais à la surface, on les trouverait dans la profondeur, et probablement à l'état de sulfures inaltérés.

MODIFICATIONS DES ROCHES.

Passage de l'état amorphe à l'état cristallin.

Il suffit qu'une substance minérale soit légèrement soluble dans un gaz ou dans un liquide pour que, de proche en proche, elle passe entièrement de l'état amorphe à l'état cristallin.

M. H. Sainte-Claire Deville et plusieurs de ses collaborateurs, particulièrement M. Hautefeuille ont fait voir, par exemple, qu'au moyen de l'acide chlorhydrique gazeux, il devient possible de faire cristalliser un très-grand nombre de substances.

Récemment M. Debray (1) a montré qu'en faisant varier très-peu et passer par différentes alternances la température de la liqueur dans laquelle se dépose un précipité, on amène souvent ce dernier à l'état cristallin; c'est notamment ce qui a lieu pour les arsénates et pour les phosphates.

Il importe d'observer qu'il se produit alors des cavités dans la

(1) *Comptes rendus*, 4 juillet 1864.

masse du précipité et même des druses tapissées de cristaux, qui ressemblent beaucoup à celles qu'on trouve dans la nature.

Cette condition d'un liquide dissolvant plus ou moins les substances minérales avec lesquelles il se trouve en contact se rencontre d'ailleurs fréquemment. Car, l'eau chargée d'acide carbonique dissout le carbonate de chaux et peut alors déterminer la cristallisation. Suivant M. Kuhlmann (1), la force cristallogénique contribue même à former ainsi des marbres, des agates, des jaspes diversement nuancés. Leur veinage ne résulterait pas exclusivement de circonstances accidentelles et de simples superpositions de couches, mais aussi d'un travail intérieur, la force cristallogénique jouant un certain rôle et produisant des phénomènes de départ.

PSEUDOMORPHISME.

Minéraux.

Péridot en chaux carbonatée.

A Hotzendorf, près de Neutitschein, en Moravie, des cristaux altérés de péridot se trouvent dans une roche éruptive qui paraît être incontestablement un basalte plus ou moins métamorphisé par les agents atmosphériques.

L'étude de ce péridot a été faite par M. Madelung (2). Après avoir constaté que les mesures de ses angles concordent parfaitement avec les chiffres indiqués par M. Des Cloizeaux pour le péridot chrysolithe de Torre del Greco, il a reconnu, par l'analyse chimique, que les cristaux contenaient de 30 à 40 p. 100 de carbonate de chaux, et que leur densité variait entre 2,68 et 2,71. De même qu'à Unkel (3) le péridot d'Hotzendorf a donc éprouvé en se décomposant une diminution notable dans sa densité et de plus il a été fortement imprégné par du carbonate de chaux.

Un commencement de pseudomorphisme a vraisemblablement lieu et l'élément calcaire introduit paraît avoir été enlevé, par les eaux d'infiltration, à un grès calcarifère qui recouvre le basalte dans cette contrée.

(1) *Comptes rendus*, 6 mai 1864.

(2) *Jahrb. d. K. K. g. Reichs-Anstalt*, 1864, 1.

(3) *Revue de géologie*, III, 172.

Êtres organisés.

Le pseudomorphisme peut très-bien être étudié sur les animaux et sur les végétaux fossiles; car en comparant ces derniers avec les êtres analogues de l'époque actuelle, il devient facile d'apprécier les modifications qu'ils ont subies dans leur composition, tout en conservant leur forme.

Nous en donnerons ici quelques exemples.

Chaux carbonatée en chaux phosphatée; Polyptier en Sombrorite.

On exploite à l'île Sombrero, dans les Antilles, un phosphate dont la composition a été donnée précédemment (1). Bien que de découverte récente, il est déjà très-employé dans l'agriculture de l'Angleterre et du nord de l'Allemagne. M. Fr. Sandberger (2) s'est occupé de son examen et a reconnu que lorsqu'il est rouge des débris provenant de roches volcaniques lui sont mélangés. Les variétés blanches contiennent surtout une multitude de fragments d'un polyptier solenastrea orbicella (Dana) qui vit encore aux Antilles et qui se montre aussi dans les récifs émergés de la Guadeloupe. D'autres mollusques de l'époque actuelle s'y rencontrent également.

D'après M. Fr. Sandberger, la chaux carbonatée qui composait le têt calcaire du polyptier (solenastrea) est souvent pseudomorphosée en phosphorite. De plus, dans les cavités et dans les fissures de la roche, on reconnaît très-bien la phosphorite qui forme des enduits cristallins ayant une structure rayonnée.

Il convient de rappeler à ce sujet qu'un œuf trouvé à une profondeur de plus de 10 mètres dans le guano des îles Chincha avait, d'après H. Rose, sa coquille presque entièrement pseudomorphosée; car elle ne contenait pas moins de 78 p. 100 de chaux phosphatée.

M. Fr. Sandberger explique la formation du phosphate de Sombrero en admettant qu'un récif de polyptiers émergé à l'époque actuelle a d'abord été habité par de nombreuses légions d'oiseaux aquatiques qui l'ont recouvert par des dépôts de guano. Ensuite ces dépôts ont donné lieu à des infiltrations de phosphates

(1) *Revue de géologie*, III, 94.

(2) *Neues Jahrbuch*, 1861, 631.

qui se dissolvant avec facilité dans les acides organiques, ont produit du phosphate de chaux aux dépens des têts calcaires.

Du phosphate d'alumine a pu résulter également des mêmes infiltrations à travers les tufs volcaniques.

On pourrait expliquer de la même manière pourquoi certains polypiers analysés par M. Silliman J^r contiennent une assez grande proportion d'acide phosphorique.

Sepia fossile.

La sepia fossile qui se retrouve si bien conservée dans certains céphalopodes du lias peut être comparée avec celle des céphalopodes de l'époque actuelle; en sorte qu'on connaît par cela même les modifications qu'elle a éprouvées dans l'intérieur de la terre.

Voici, d'après M. Rosaeus (1), quelle est la composition de la sepia ordinaire (I) et celle du loligo bollensis qui se rencontre à l'état fossile dans le lias de Metzingen en Wurtemberg (II).

	Densité.	C	H	As	HO	Cendres.	Somme.
I.	"	50,3	2,2	6,3	20,5	11,2	70,5
II	1,345	33,8	4,3	2,0	4,3	30,8	75,2

D'après ces analyses, on voit que, dans la sepia fossile qui est devenue dure et cassante, la proportion d'eau et d'azote a diminué, tandis que, par une circonstance sans doute spéciale, les cendres, c'est-à-dire les substances minérales, y ont augmenté.

Du reste, la sepia, matière organique riche en carbone, restant enfouie dans le sein de la terre pendant une longue série d'âges, doit naturellement éprouver des modifications analogues à celles que subissent les végétaux fossiles et les combustibles.

Bois minéralisé par du sous-sulfate de fer.

Du bois qui était resté immergé dans les anciennes mines de cuivre de Saint-Domingo en Portugal, s'est parfaitement conservé pendant quatorze siècles. M. Payen (2), qui en a fait l'examen, a reconnu que, desséché à 100°, il laissait un résidu de 2,58: oxyde

(1) *Jenaer Zeitschrift f. Medicin*, 1864, I, 2. — *Neues Jahrbuch*; 1864, 715.

(2) *Comptes rendus*, 6 juin 1864.

de fer et 0,8 oxyde de cuivre. Il est imprégné de sulfates solubles de fer et de cuivre; de plus, il est en partie minéralisé par du sous-sulfate de sesquioxyde de fer qui est insoluble.

DÉCOMPOSITION.

Lave décomposée par les acides.

Une substance blanche, terreuse, pulvérulente, rapportée de l'île de Java par M. Junghuhn, a été analysée par M. Pröls (1).

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	KO	NaO	ClH	HO	Somme
42,96	28,98	5,31	0,34	0,16	0,07	0,21	0,54	20,71	100,12

C'est visiblement une lave qui a été attaquée par des vapeurs acides et spécialement par de l'acide chlorhydrique. Elle a perdu presque entièrement ses alcalis; ses bases terreuses et, en outre, une partie de sa silice; on conçoit donc qu'elle ait dû prendre de l'eau, s'enrichir en alumine et définitivement passer à une sorte de kaolin.

MÉTAMORPHISME.

Des recherches générales sur le métamorphisme ont été faites par le rév. W. B. Clarke (1), qui s'est particulièrement appliqué à décrire les phénomènes observés dans les environs de Sydney et en Australie.

Métamorphisme de contact.

D'après le rév. W. B. Clarke, du grès quartzeux, tendre et friable est souvent devenu prismatique et tenace au contact du trapp. A Pyrmont, notamment, sa densité, qui était d'abord 2,13, s'est élevée jusqu'à 3,01. Ce résultat est analogue à ce qui a déjà

(1) *Neues Jahrbuch*, von G. Leonhard und H. B. Geinitz, 1854, 4^e liv. 435.

(2) *On the transmutation of rocks in Australasia with photographic illustrations of examples from the neighbourhood of Sydney.*

été constaté dans d'autres gisements, notamment dans celui de Comber en Irlande (1).

A Green-Ponds et à Constitution-Hill, des schistes appartenant au terrain contenant les combustibles, présentent des moules de plantes qui ont été remplis par des veines de calcédoine dans le voisinage de roches ignées.

Par divers exemples pris en Australie, M. Clarke cherche à établir la relation qui existe entre les éruptions de trapp ou de basalte et la structure prismatique des roches, ainsi que la formation de dépôts ferrugineux et argileux. Les trapps qu'il a examinés sont le plus généralement associés à diverses argiles.

M. Clarke cite encore divers phénomènes de métamorphisme qu'il a observés au contact du granite.

Par exemple, le granite du mont Alexandre, dans la province Victoria, se trouve en contact à Castlemaine avec des schistes auriens qui sont quartzeux et aurifères. Mais près du granite les schistes éprouvent des modifications bien accusées et, en particulier, les filons de quartz aurifères qui les traversent s'appauvrissent tellement qu'ils cessent d'être exploitables.

A Sappa-Bulgas, dans les montagnes Harvey, M. Clarke attribue au granite la conversion du grès ordinaire en une sorte de grès qu'il appelle vitrifié, mais que nous regarderions plutôt comme incristallisé.

Le long de la rivière Darling, vers la limite ouest de la Nouvelle-Galles, ce grès s'observe sur une énorme étendue.

Dans la partie nord de la Nouvelle-Hollande, le métamorphisme en jaspe est souvent produit par le granite. C'est particulièrement ce qui a lieu près du granite de la rivière Peel et dans le district de Hanging-Rock.

Métamorphisme normal.

Micaschistes.

Une analyse des recherches que M. H. Clifton Sorby a faites à l'aide du microscope sur les micaschistes a déjà été donnée dans cette Revue (2); nous allons la compléter d'après les détails spéciaux publiés par l'auteur (3).

En préparant des plaques polies de micaschistes d'Écosse M. Sorby a reconnu, dans beaucoup d'entre eux, l'existence d'un

(1) Delessé : *Études sur le métamorphisme des roches*; 1858, 151.

(2) *Revue de géologie*, III, 187.

(3) *Geol. Soc.*, XIX, 401.

structure particulière qu'il a nommée *ripple drift*, et qui consiste dans l'intercalation, au milieu des zones régulières et parallèles qui forment la masse de la roche, d'un certain nombre de zones obliques sur les premières, et constituées comme le seraient des couches inclinées de sable, déposées sous l'action d'un courant entre deux formations d'eau tranquille.

De plus, en observant au microscope des micaschistes soyeux, à base de mica séricite, provenant de l'Écosse et de l'Allemagne, il a reconnu dans beaucoup d'entre eux, au milieu du quartz transparent et cristallin qui forme une masse à peu près continue, de nombreux grains isolés de quartz et de feldspath.

Voici d'ailleurs les conclusions que M. Sorby formule d'après l'ensemble de ses observations :

1° L'existence des *ripple-drift* prouve l'origine sédimentaire des matériaux qui ont donné naissance au micaschiste.

2° Ces matériaux contenaient, dans le principe, des grains de sable, et formaient probablement un dépôt de sable plus ou moins mélangé avec de l'argile.

3° Quelle qu'ait été, d'ailleurs, l'origine des schistes, leur structure cristalline actuelle s'est développée postérieurement à leur dépôt; cependant, dans certains cas, la cristallisation a été précédée de mouvements mécaniques qui ont contourné les couches et donné naissance à un clivage sur les faces duquel le mica, par exemple, est quelquefois venu cristalliser.

4° Les zones de minéraux différents représentent les plans de dépôt: ces zones qui, dans la roche inaltérée, diffèrent par leur composition plutôt que par leur aspect, ont été mises en évidence par l'altération métamorphique des strates minces.

Empreintes végétales dans le gneiss.

Des traces de fossiles ont été signalées à différentes reprises dans les schistes cristallins des Alpes et même dans les schistes maclifères de la Bretagne. On sait aussi que les schistes pétrosiliceux et feldspathiques peuvent très-bien renfermer des débris d'animaux ou de végétaux. Ceux de Thann en particulier présentent fréquemment des empreintes de végétaux qui sont encore déterminables et même très-bien conservées; le feldspath qui s'est développé dans ces schistes métamorphiques est de l'anorthose et il est accompagné de mica et de quartz; en outre, ces schistes passent quelquefois à des roches qui contiennent des lamelles d'orthose. Pour les partisans du métamorphisme, il est donc possible que le gneiss lui-même renferme des débris fossiles. C'est, en effet, ce qui paraît résulter d'une ob-

observation faite récemment par M. Angelo Siamonda sur le granitique de la Valteline (1). D'après M. Ad. Brongniart la empreinte observée dans ce gneiss serait une portion de gaine (setum). Quoique les fossiles soient très-exceptionnels de schistes cristallins et surtout dans le gneiss, il serait préférable de ne pas attribuer à ces roches la qualification d'azoïques.

ÂGE DES ROCHES ÉRUPTIVES.

De nombreuses observations sont nécessaires pour arriver à connaître les limites géologiques entre lesquelles ont apparu différentes roches éruptives. C'est dans ce but que nous réunissons, comme les années précédentes, quelques faits relatifs à cette question (2).

Considérons successivement les roches proprement dites les roches métallifères.

Roches volcaniques.

Laacher See et Eifel. — Les éruptions volcaniques du Laacher See et de l'Eifel ont été étudiées par M. de Dechen (3), qui prouve qu'elles se sont continuées jusque dans l'oligocène.

Au Laacher See, on trouve, en effet, des tufs contenant des plantes telles que *juglans acuminata*, *juglans bilineata*, *liquidambar* et *pæm*, *alnus Kefersteinii*, *Corylus Rhenana*, *Ficus lanceolata*, *Larix styracifolia*, *Rosa dubia*, et d'après M. Heer elles appartiennent aux lignites de cette époque. Du reste, ces éruptions ont commencé peu de temps après celles des basaltes oligocènes du Siebengebirge et du Westerwald.

Dans la région du Laacher See, beaucoup de couches de laves sont recouvertes par du loess, et par conséquent elles sont plus anciennes que ce dépôt; toutefois on ne saurait admettre qu'elles soient plus récentes que les laves pour lesquelles cela n'a pas lieu. Jamais aucune coulée de lave n'a été observée par-dessus le loess, tandis que ce dernier est souvent recouvert par des tufs contenant de l'amphigène, de la ponce et du trachyte. Ces tufs proviennent des éruptions volcaniques les plus modernes trouvées seulement dans la région du Laacher See, tandis qu'elles manquent dans l'Eifel.

Les observations de M. de Dechen le conduisent à admettre

(1) *Reale Accademia delle scienze di Torino*, XXIII, série 2^e.

(2) *Revue de géologie*, I, 106; III, 187.

(3) *Zeitschrift d. d. Geologischen Gesellschaft*, XIII, 143.

qu'au Laacher See l'activité volcanique s'est prolongée pendant un temps beaucoup plus long que dans l'Eifel. Les volcans de l'Eifel étaient déjà éteints depuis longtemps que ceux du Laacher See continuaient à faire éruption et à lancer encore des masses considérables de débris.

Islande. — M. G. G. Winkler (1) indique en Islande des alternances entre le trapp et le trachyte. Les deux roches se traversent mutuellement sous forme de filons; c'est un fait analogue à celui signalé déjà par M. A. E. Reuss pour le basalte et pour le trachyte de la Bohême.

Java. — Dans l'île de Java, un tuf de palagonite forme, d'après M. Prötsch (2), des couches qui sont intercalées dans le terrain tertiaire de l'île; comme la palagonite est essentiellement d'origine volcanique, on peut en conclure que les phénomènes volcaniques de Java ont eux-mêmes commencé avant l'époque actuelle.

Californie. — Les roches éruptives de l'époque tertiaire sont très-développées en Californie. M. de Richthofen (3), qui s'est occupé de leur étude, pense qu'elles se sont succédé dans le même ordre qu'en Hongrie.

Les plus anciennes paraissent être les trachytes verts (grünsteintrachyte); ensuite viennent les andésites, les trachytes proprement dits, puis les rhyolites et en dernier lieu les basaltes, qui sont d'ailleurs très-récents.

Roches métallifères.

Les gîtes métallifères des environs de Washoe, et particulièrement de Comstock, ont été étudiés par MM. Whitney et de Richthofen (4). D'après ce dernier géologue, ils ressemblent beaucoup aux filons d'argent de Felsöbanya, de Schemnitz et de différentes mines des Karpathes.

Leur formation paraît contemporaine de l'éruption d'un trachyte avec orthose et oligoclase, qui joue un rôle très-important dans la géologie des montagnes de Washoe.

(1) *Island. Der Bau Seiner Gebirge und dessen geologische Bedeutung.* Munich, 1862.

(2) *Neues Jahrbuch*, 1864, 4^e livraison, 434.

(3) *Zeitschrift d. deut. Geolog. Gesellschaft*, XVI, 610.

(4) *Zeitschrift d. deut. Geolog. Gesellschaft*, XVI, 606.

Fossiles dans les gîtes métallifères.

M. Ch. Moore (1), qui avait déjà constaté l'existence de fossiles dans les filons de plomb traversant le calcaire carbonifère de l'ouest de l'Angleterre, en a observé également dans ceux du Yorkshire (2). Ainsi, dans le filon New Rake, le remplissage argileux renferme beaucoup de petites dents nommées conodontes; il est d'ailleurs assez remarquable que jusqu'à présent elles n'aient été rencontrées que dans les couches à ossements du silurien supérieur.

Ces fossiles ont-ils été entraînés dans les filons par des mers anciennes, ou par des eaux venant de l'intérieur de la terre et traversant des terrains stratifiés? Sont-ils, au contraire, le résidu de la décomposition de roches dont les débris seraient tombés dans les filons? C'est ce qu'il est assez difficile de décider.

De même que les fossiles du terrain diluvien, les limites qu'ils ont relativement à l'âge des filons restent fort étendues; car ils peuvent provenir de tous les terrains qui se sont déposés soit avant soit pendant le remplissage des filons.

GÉOGÉNIE.**Considérations déduites de l'astronomie.**

Des considérations générales sur la géogénie et spécialement ses relations avec certains phénomènes astronomiques ont été présentées par M. G. M. Browne (3).

L'auteur appelle surtout l'attention sur la précession des équinoxes qui, résultant d'un changement dans l'inclinaison de l'axe de la terre, doit avoir produit, suivant lui, des changements importants dans le niveau des mers.

Les eaux des mers tendent toujours à s'accumuler vers l'équateur, où elles forment une sorte de protubérance; mais l'axe de la terre venant à s'incliner, on conçoit que l'attraction exercée sur ces eaux par le soleil et par la lune subira elle-même des modifications; par suite, le régime des marées se trouvera changé. M. Browne admet qu'il en résultera une émergence lente des terres sur certains rivages, tandis que sur d'autres il y aura au contraire submersion, en sorte que la mer reviendra détruire des couches qu'elle avait déposées précédemment.

(1) *Revue de géologie*, III, 101.

(2) *Report of the British Association*, 1853, 33.

(3) *Astronomical geology*.

Sa théorie lui paraît trouver une confirmation dans les changements de niveau des mers qui s'observent sur un grand nombre de points : dans la concordance que les couches successives présentent habituellement dans leur stratification ; dans les variations de climats qui sont accusées par l'étude des fossiles et qui correspondent à des inclinaisons différentes de l'axe de la terre.

Poussant jusqu'à ses dernières limites la doctrine des causes actuelles M. Browne admet, contrairement aux faits les mieux établis (1), que depuis la solidification de la partie ignée de l'écorce terrestre, les roches sédimentaires n'ont pas été soulevées et disloquées. Suivant lui, elles ont été simplement émergées par le retrait des mers. Quant au granite, ce serait une roche ignée, représentant la croûte qui s'est d'abord solidifiée sur notre globe ; il aurait d'ailleurs reçu dès l'origine, et avant le dépôt des roches sédimentaires, le relief qu'il présente maintenant.

M. Browne revient ainsi à l'ancienne hypothèse qui attribuait au granite une origine ignée et primordiale, hypothèse qui nous paraît inadmissible, doublement inexacte, et qui a généralement été abandonnée.

Généralité des dégagements d'acide carbonique de l'intérieur de la terre.

Dans une étude des régions volcaniques du Lacher See et de l'Eifel, M. de Dechen (2) s'est occupé de la répartition des sources acidulées ainsi que des dégagements d'acide carbonique. Actuellement ces sources représentent seules l'activité volcanique ; elles proviennent pour la plupart du dévonien inférieur, et lors même que ce terrain ne se voit pas directement, on peut soupçonner sa présence à une petite profondeur.

Toutefois il importe de remarquer que les sources avec acide carbonique émergent fréquemment des couches dévoniennes jusqu'à une très-grande distance des anciens volcans ; c'est en particulier ce qui a lieu pour quelques-unes des sources chaudes les plus célèbres, telles que Ems, Aix-la-Chapelle, Burtscheid, Asmannshausen et Wiesbaden.

Il en est encore de même pour les sources qui sont au sud de Manderscheid sur le Lieser et sur la Moselle ; car leur puissance ne diminue pas à mesure qu'on s'éloigne de la région volcanique, le laquelle elles paraissent être tout à fait indépendantes.

(2) Élie de Beaumont. *Notice sur les systèmes de montagnes.*

(1) *Zeitschrift d. d. Geologischen Gesellschaft*, XVII, 69.

M. de Dechen regarde, d'après cela, le dégagement de l'acide carbonique comme un phénomène aussi général dans l'intérieur de la terre que l'accroissement de température. On l'observe partout où l'écorce terrestre a été traversée par des fentes s'étendant depuis la surface jusqu'à une profondeur suffisante.

Cette hypothèse permet d'expliquer simplement pourquoi, dans certaines parties des régions volcaniques, il existe des dégagements considérables d'acide carbonique, tandis qu'il n'y a en a pas dans d'autres; il est facile de comprendre, en effet, que ces dégagements ne peuvent avoir lieu que dans les parties où l'écorce terrestre a été profondément fissurée.

Diminution dans le niveau des mers.

La Revue de géologie a déjà mentionné une hypothèse de MM. Hermann et H. Lecoq, appuyée par M. Delesse, d'après laquelle notre planète absorbant l'eau qui existe à sa surface à mesure qu'elle se refroidit et que ses dépôts sédimentaires augmentent, serait destinée à passer à l'état de lune (1).

M. Trautschold (2) arrive à la même conclusion par l'exemple de la Russie. En effet, dans cette contrée, les divers étages géologiques, depuis le terrain silurien jusqu'à la craie, se succèdent de l'ouest à l'est, avec une extrême régularité, sous la forme de zones parallèles, toutes très-riches en fossiles, et paraissant représenter des formations littorales.

La mer semble donc s'être retirée peu à peu vers l'est, si maintenant elle ne serait plus représentée que par la mer Caspienne et celle d'Aral.

M. Trautschold ajoute que cette grande régularité dans la succession des dépôts fait de la Russie un pays éminemment propre à l'étude du développement de la vie organique ainsi que des passages d'une faune à une autre.

La même remarque s'applique à l'Amérique du Nord où l'on peut facilement reconnaître les niveaux successifs et décroissants des dépôts sédimentaires sur des étendues immenses et depuis les époques géologiques les plus reculées.

Ancienne mer du Sahara.

Dès l'année 1846, M. André Wagner, s'appuyant sur de nom-

(1) *Revue de géologie*, II, 138.

(2) *Zeitschrift d. deut. Geologischen Gesellschaft*, XV, 416.

breuses observations empruntées à la géologie et à l'histoire naturelle, écrivait : « La côte septentrionale de l'Afrique est beaucoup moins nettement séparée de l'Europe par la Méditerranée qu'elle ne l'est du reste du continent africain par le Sahara. Tout porte à croire que le désert était autrefois recouvert par les eaux, de sorte que les côtes barbaresques formaient une île de la Méditerranée. »

Cette idée adoptée par différents géologues vient d'être reprise par M. Suess (1) à la suite des travaux de MM. Hörnes et Anca. Le premier a retrouvé, dans les mollusques fossiles du bassin de Vienne, des espèces identiques à celles qui vivent aujourd'hui sur les côtes du Sénégal, notamment : *Cyprea sanguinolenta*, *Buccinum lyratum*, *Oliva flammulata*, *Lutraria oblonga*, *Tellina crassa*, *Tellina lacunosa*, *Venus ovata*, *Trigonia anatina*, *Macra Bucklandi*. De son côté, M. Ch. Laurent a rencontré le *Cardium edule* sur les terrasses de l'Aurès. Enfin la comparaison des faunes terrestres conduit à réunir les îles Canaries, le Maroc, l'Algérie et le sud-ouest de l'Europe en un groupe homogène.

A une certaine époque, une communication existait sans doute entre le continent africain proprement dit et le sud de l'Europe. En effet, M. Anca a trouvé, dans les cavernes à ossements de la Sicile, à côté des coquilles d'espèces vivantes, comme l'*Helix aspersa* et le *Cardium edule*, des os de loups et de renards, c'est-à-dire d'animaux franchement européens associés à des restes d'*Elephas africanus* et d'hyène tachetée, dont la patrie est l'Afrique orientale ou méridionale et qui ne franchit jamais le désert.

De plus la chaîne de rochers sous-marins, qui réunit la Sicile à la côte d'Afrique et qui est si bien marquée sur les cartes hydrographiques, paraît être un vestige de cette ancienne communication.

Si le Sahara était autrefois une vaste mer, Sir Charles Lyell (2) observe, avec quelques géologues glaciéristes, qu'il a par cela même exercé une grande influence sur le climat de l'époque post-tertiaire. On peut penser notamment que les vents du sud, après avoir traversé le Sahara, arrivaient en Europe chargés d'une grande quantité de vapeur d'eau, et quand ils atteignaient les Alpes, cette vapeur se précipitait sous forme de neige. Ainsi, ce même courant aérien qui aujourd'hui, sous le nom de Sirocco, dessèche tout sur son passage, a dû être autrefois la source principale à laquelle s'alimentaient les neiges et les glaces des Alpes, et contribuer à leur donner plus d'extension.

1) *Jahrbuch d. K. K. g. Reichsanstalt*, 1881, 26.

2) *Elements of Geology*, 175.

Creusement des vallées et des lacs.

Les géologues ne sont pas d'accord sur la nature et sur l'importance des causes qui ont produit le relief du sol. Les discussions auxquelles nous avons rendu compte précédemment se sont continuées relativement à l'origine des vallées et surtout des lacs, particulièrement des lacs alpins (1).

Divers géologues, parmi lesquels il faut citer MM. Ramsay, Jukes, de Mortillet, Tyndall, pensent toujours que les lacs ont été affouillés ou creusés par les anciens glaciers; en outre, ils attribuent les vallées des Alpes à l'érosion produite par ces agents.

Les mêmes idées ont été adoptées par plusieurs géologues américains.

M. Youle Hind (2) observe, par exemple, que dans la péninsule du Labrador les flancs des plateaux sont couverts de blocs erratiques, aux arêtes plus ou moins arrondies, et empruntés aux roches de la contrée. Ces blocs ne se rencontrent qu'à partir d'une certaine hauteur au-dessus du niveau de la mer, et les roches avoisantes présentent fréquemment des stries et des surfaces polies. M. I. Hind en conclut qu'ils ont été apportés par des glaciers. Il pense que ce sont également les glaciers qui ont creusé les nombreuses dépressions occupées aujourd'hui par les lacs de la contrée de Saint-Laurent, et à l'appui de cette opinion, il invoque l'autorité de MM. Agassiz, Logan, Newberry.

— Toutefois la théorie du creusement des lacs et des vallées par les glaciers a trouvé de nombreux adversaires parmi lesquels nous signalerons MM. Studer, Desor, A. Favre, et Sir Roderick Murchison.

Ainsi M. Studer (3), qui a si bien étudié les Alpes, ne met pas en doute que les vallées n'y soient généralement le résultat de ruptures.

Il observe, en effet, que les couches formant leurs versants se coupent souvent sous des angles plus ou moins obtus. Ces vallées ont d'ailleurs été remplies par les débris des alluvions anciennes, qui tantôt sont restés en place, et tantôt se sont affaissés, en donnant lieu à des excavations qui ont alors produit des lacs.

M. Alphonse Favre (4) traite également cette question

(1) *Revue de géologie*, II, 163 à 166; III, 203.

(2) *Geological Society*, 1864, 122.

(3) *Archives des sciences physiques et naturelles*, 1864 : XIX, 29. — Bibliothèque universelle de Genève.

(4) A. Favre. Lettre adressée à Sir Roderick J. Murchison sur l'origine des lacs alpins et des vallées.

l'origine des vallées et des lacs alpins, en s'occupant plus particulièrement du lac de Genève. Voici comment il formule ses conclusions :

1° Le lac de Genève n'est pas tracé suivant la ligne médiane ou centrale des glaciers réunis qui s'étendaient du Rhône au Jura.

2° Ces anciens glaciers n'ayant pas eu la force d'enlever l'alluvion ancienne en aval de Genève, n'ont pu produire dans les bassins lacustres ce qu'on nomme l'affouillement. S'ils n'ont pu creuser ces bassins, ils ont encore moins creusé les vallées qui y aboutissent.

3° Les vallées et les bassins des pays de montagnes sont liés avec la cause qui a donné aux chaînes leur caractère orographique, et aux couches leurs positions plus ou moins inclinées.

4° La situation des lacs Alpins en général, et du lac de Genève en particulier, a été déterminée par une ligne de redressement ou de renversement des couches. La forme du lac de Genève lui était donnée, dans sa partie orientale, par la courbure des montagnes de sa rive méridionale, et dans sa partie occidentale par son parallélisme avec le grand axe anticlinal qui traverse la Suisse.

5° Enfin sa plus grande profondeur est située sur la ligne du renversement des couches qui existe à la jonction des Alpes et de la plaine.

Par conséquent les bassins semblables à celui du lac de Genève ne sont pas le résultat d'une cause externe au globe, mais ils sont un effet de la volcanicité, ce mot étant pris dans le sens qui lui a été attribué par Humboldt, savoir : l'influence qu'exerce l'intérieur d'une planète sur son enveloppe extérieure dans les différents stades de son refroidissement.

Enfin, dans son adresse à la Société royale de géographie, Sir Roderick Murchison a traité la question des glaciers et des glaces flottantes au point de vue de l'action qu'ils exercent sur les roches (1).

Sir R. Murchison ne saurait admettre que la pression des glaciers ait pu déterminer la formation de grandes vallées et creuser des bassins comme ceux des lacs de Suisse et d'Italie. Il rejette complètement cette hypothèse en s'autorisant surtout des études de MM. Martins, Gastaldi, Studer, Favre, Desor, ces géologues ont démontré, en effet, que, dans bien des cas, les anciennes moraines des glaciers reposent sur des alluvions, ce qui prouve que leur faculté d'érosion est relativement limitée. Le savant directeur du *Geological Survey* ajoute que l'orientation des lacs des Alpes et la

(1) *Geological Magazine*, 1, 126.

pente de leur fond fournissent au contraire des arguments irrécusables contre l'hypothèse des érosions glaciaires, et il considère ces lacs et les vallées correspondantes comme formés par soulèvements, rupture ou dénudation.

Cavités dans les roches.

M. Heymann (1) s'est occupé de l'étude des cavités fermées qui se rencontrent dans les roches. Il en distingue seulement trois types qui sont basés sur le mode de formation.

Le premier type est offert, par exemple, par les cavités du calcaire carbonifère des environs de Ratingen et de Lintorf, qui sont tapissées par des cristaux de quartz, de dolomite, de pyrite, de plomb et de blende. M. Heymann attribue leur formation à l'enlèvement par les eaux de masses gypseuses, originaires mélangées au calcaire, et il croit trouver une confirmation de sa hypothèse dans la présence des sulfures métalliques qui tapissent leurs parois. La dénomination qu'il leur applique est celle de cavités drusiques (*Drusenraum*).

Un second type est offert par les rognons, dont le fendillement intérieur provient du retrait survenu après la consolidation de la enveloppe. Les rognons de strontiane sulfatée des marnes vertes en donnent un exemple aux environs de Paris. La même structure s'observe dans les rognons de calcaire argileux, particulièrement dans ceux du lias et de l'oxfordien. On la retrouve aussi dans les oolithes et les pisolithes, surtout dans celles des environs de Castres. L'hématite et la limonite présentent encore fréquemment des rognons avec retraits. Enfin, nous en avons signalé naguère dans les roches trachytiques, notamment dans celles de l'Islande.

Le troisième type se rencontre dans les laves, et comprend les cavités produites par l'ascension de bulles gazeuses.

A ce sujet, M. Heymann observe que les laves poreuses ne renferment pas d'amygdaloïdes formées de chaux carbonatée et de quartz. Pour lui, ces amygdaloïdes existent seulement dans les roches dans lesquelles l'action des eaux aurait enlevé certaines substances et fait naître ainsi des espaces drusiques remplis postérieurement par des infiltrations. Il cite comme exemple les néophyres de la vallée de Fassa, où la décomposition de l'augite a donné naissance à des cristaux de chlorite ferrugineuse (dolomite).

(1) *Niederrh. Ges. f. Natur. und Heilkunde zu Bonn*, 1861.

et de grengesite avec perte de chaux carbonatée et de silice, qui ont alors rempli les amygdaloïdes.

— Il ne nous paraît pas que ces considérations théoriques, développées par M. Heymann, puissent être acceptées.

Comme nous l'avons déjà fait observer précédemment, la formation des amygdaloïdes est un phénomène qui remonte à l'origine même de la roche. La plupart de leurs minéraux datent de cette origine, bien que des infiltrations postérieures aient pu en introduire aussi dans les cavités restées libres. Les amygdaloïdes nous semblent être indépendantes de la décomposition des roches; car on les observe dans des trapps et dans des mélaphyres qui ne sont aucunement altérés. La formation des amygdaloïdes d'agate, tapissées de cristaux de quartz, peut encore être attribuée à des retraits s'opérant dans une masse de silice primitivement gélatineuse qui aurait subi une cristallisation postérieure.

L'étude des cavités qui existent dans les roches se relie d'ailleurs, sous certains rapports, à celle des roches globuleuses; en effet, lorsque ces dernières sont riches en silice, leurs globules ont souvent des cavités dans leur intérieur; c'est notamment ce qui s'observe pour la pyroméride. Ces cavités sont irrégulières et elles se sont formées par contraction. Dans certaines roches, telles que les trachytes, les perlites et les obsidiennes, la contraction a été précédée d'une expansion due sans doute au dégagement de matières volatiles. Les globules qui ont des cavités peuvent même passer d'une manière insensible à des cellules, avec lesquelles ils se trouvent réunis sur la même roche (1).

Cailloux roulés dans les couches de houille.

Il est extrêmement rare de rencontrer des cailloux roulés dans les couches de houille; cependant le professeur Phillips a déjà signalé du grès dans la houille de Newcastle (2).

Récemment MM. F. Roemer et Koerfer (3) ont également observé quelques cailloux de gneiss et de leptynite dans la houille de la mine Hohenlohe, près de Kattowitz, dans la haute Silésie. La longueur d'un de ces cailloux dépassait 0^m,50, et il importe de noter qu'il appartenait à des roches qui ne sont pas connues dans le voisinage.

(1) Delesse. Roches globuleuses. *Mémoires de la Société géologique*, 2^e série, tom. V. — Recherches sur l'origine des roches. — *Bulletin de la Soc. géolog.* [2] XV, 728.

(2) *Manual of Geology*. — London, 1855, 726.

(3) *Zeitschrift d. Deutschen Geologischen Gesellschaft*, XVI, 615.

L'hypothèse généralement adoptée pour expliquer la formation de la houille est celle qui l'assimile à la tourbe; mais alors il devient assez difficile d'y expliquer la présence de gros cailloux. Comme leur transport par les glaces flottantes n'est guère probable, on est conduit à admettre, avec Sir Charles Lyell et avec M. Phillips, qu'il a eu lieu par suite de ce que ces cailloux sont restés adhérents à des racines d'arbres qui ont ensuite été entraînés à de grandes distances.

Diamant.

Différentes recherches sur le diamant ont été faites récemment par M. H. R. Göppert (1) et par Sir David Brewster (2).

Le diamant noir de Bahia paraît à M. Göppert un mélange de carbone non cristallisé avec du diamant, comme cela résulte aussi des recherches faites par M. Löwig sur sa combustion.

Il arrive souvent que le diamant enveloppe d'autres cristaux: la pyrite de fer notamment y a été signalée par M. Hartinc.

Sir David Brewster appelle particulièrement l'attention sur les cavités microscopiques qui existent dans le diamant aussi que dans d'autres gemmes, comme la topaze et l'émeraude. Les cavités deviennent quelquefois très-nombreuses dans certains diamants qui prennent une couleur noire; alors ils ne se laissent plus traverser par la lumière, en sorte qu'ils ne peuvent plus être employés dans la bijouterie.

M. Göppert observe que le diamant était originairement doué d'une certaine plasticité; car un diamant de l'Empereur de Brésil conserve encore l'empreinte d'un grain de sable. Le diamant noir et des diamants bien cristallisés portent également sur leurs faces des empreintes analogues qui sont produites par des corps étrangers.

Certains observateurs, particulièrement M. Petzholdt, ont cru reconnaître le tissu cellulaire des plantes dans les cendres provenant de la combustion du diamant. Toutefois M. Göppert n'a pas rencontré, jusqu'à présent, des traces d'organisation dans le graphite; dans le diamant il n'en a pas reconnu non plus d'une manière absolument certaine.

Abordant la question, déjà si souvent débattue, de l'origine du diamant, M. Göppert se demande s'il a été formé par voie sèche ou bien par voie humide.

(1) *Neues Jahrbuch*, 1844, 198.

(2) *Philosophical Magazine*, XXV, 174.

La première hypothèse n'est guère admissible; les expériences de Despretz montrent, en effet, que le diamant devient noir et se change en une espèce de coke, lorsqu'il est soumis à une chaleur très intense comme celle que développe la pile.

La deuxième hypothèse qui attribue la formation du diamant à la voie humide a pour elle l'autorité de Newton, de sir David Brewster, de Liebig; c'est aussi celle qui s'accorde le mieux avec ce que l'on sait sur le gneiss, l'itacolumite et les roches métamorphiques dans lesquelles il a cristallisé. Les caractères de ces roches ne permettent d'ailleurs pas de leur attribuer une origine ignée.

Sir David Brewster admet en définitive que le diamant, la topaze et l'émeraude ont, comme les roches qui leur servent de gangue, une origine plutonique.

Dépôts secondaires de phosphates.

Les phosphates qui forment des lits à différents niveaux dans des terrains stratifiés, proviennent quelquefois de coprolites; mais le plus souvent ce sont des nodules ou des concrétions. C'est particulièrement bien visible lorsqu'ils se sont moulés à l'intérieur de fossiles ou lorsqu'ils ont pseudomorphosé des corps organisés comme le bois. Dans ce dernier cas, les phosphates ont nécessairement été dissous, ce qui peut avoir lieu par des eaux contenant soit de l'acide carbonique, soit des sels et des alcalis, soit encore des acides organiques résultant de la décomposition des matières animales et végétales.

Telle est l'origine que M. Gumbel (1) et avec lui d'autres géologues attribuent aux nodules de phosphates.

Si l'on considère spécialement la phosphorite d'Amberg qui contient plus de 45 d'acide phosphorique, elle repose en partie sur l'argile à ornat qui est elle-même riche en phosphates; aussi Gumbel pense-t-il que le phosphate de chaux de la phosphorite provient de cette argile elle-même. Redissous par des eaux chargées d'acide carbonique, ce phosphate aurait produit le dépôt compacte d'Amberg qui serait par conséquent d'origine secondaire.

La limonite qui accompagne la phosphorite d'Amberg et dans laquelle on trouve la vivianite ainsi que le kakoxène semble bien confirmer cette manière de voir. M. Gumbel admet même que ce dépôt date seulement du commencement de l'époque tertiaire.

1) Académie de Munich. *Sitzung der math. phys. Classe vom 10 December 1864*,

Origine des roches éruptives.

M. Sterry Hunt (1) a publié un travail sur l'origine des roches dites éruptives. Il pense qu'elles sont, pour la plupart, des sédiments anciens altérés, que des forces intérieures ont fait pénétrer violemment au milieu d'autres formations; de sorte qu'elles auraient pris naissance, non pas sous l'écorce terrestre, mais simplement dans les parties tout à fait inférieures de cette écorce.

Les études que nous avons faites sur les roches éruptives et sur le métamorphisme (2) nous ont conduit précédemment à émettre des idées analogues à celles qui sont présentées dans le travail de M. Sterry Hunt. Dans les Alpes et dans les Vosges, on observe, en effet, de nombreux gisements dans lesquels les roches sédimentaires se métamorphosent et deviennent peu à peu cristallines. Les minéraux y prennent naissance, particulièrement les feldspars, le quartz, les micas, l'amphibole; en sorte qu'on les voit passer à la diorite, au porphyre, au gneiss, au granite, en un mot à diverses roches plutoniques.

Mais pour que leur structure cristalline ait pu se développer de manière aussi complète, il faut nécessairement qu'elles aient eu une certaine plasticité; par suite, on conçoit qu'étant soumises aux énormes pressions qui, lors de la formation des montagnes s'exercent à l'intérieur de la terre, elles aient été ramenées vers la surface et qu'elles aient alors joué le rôle de roches éruptives.

Quant aux roches volcaniques, elles ont visiblement été ramollies ou fondues par la chaleur centrale du globe; de plus, elles ont une densité supérieure à celle des roches qui composent l'écorce solide de la terre; par conséquent, elles se trouvent au-dessous de cette écorce et elles proviennent d'une profondeur plus grande que les roches plutoniques.

Diverses périodes dans la formation des gîtes métallifères.

Parmi les recherches relatives à la géogénie des gîtes métallifères nous mentionnerons d'abord celles de M. Credner sur les mines de Saint-Andreasberg au Hartz (3).

Les filons les plus anciens à Saint-Andreasberg sont ceux nommés Ruschels desquels il a été question précédemment. Les fissures qui leur ont donné naissance ont pu se former au moment où le diabase a fait éruption à travers le schiste argileux. Maintenant

(1) *Americ. Journ.*, XXXVII, 248.

(2) *Études sur le métamorphisme. — Recherches sur l'origine des roches.*

(3) *Zeitschrift d. d. Geologischen Gesellschaft*, XVII, 214.

leur remplissage doit être attribué à une action postérieure à l'éruption du grunstein ; il a été opéré par des eaux souterraines qui, pénétrant dans ces fentes, y ont déposé de l'argile, tandis qu'en même temps les éboulements de leurs propres parois y accumulaient des débris.

Le granite faisant éruption postérieurement a produit les zones de fentes qui sont parallèles à la limite du granite, soit en dedans, soit en dehors des ruschels.

De plus, le retrait éprouvé par le granite et par le schiste argileux, métamorphosé en hornfels à son contact, a donné lieu à des fentes qui se sont formées à la limite même de ces deux roches.

Ensuite sont venus des phénomènes qui doivent être regardés comme consécutifs de l'éruption du granite.

Ainsi, en dehors des ruschels, les filons de fer et les filons de cuivre résultent, d'après M. Credner, du lavage des roches qui les encaissent par des eaux chaudes mises en circulation par l'éruption même du granite. Pour justifier cette hypothèse, il convient d'observer que le schiste argileux et la grauwake du Hartz sont généralement riches en oxydes de fer. De plus, avec le secours de la loupe, on distingue souvent de la pyrite de cuivre qui s'y trouve disséminée.

Enfin, à l'intérieur même des ruschels surgirent des sources minérales spéciales. Ces dernières se répandirent dans les fentes existant entre les ruschels par lesquels elles furent isolées et enveloppées d'un manteau imperméable.

Le remplissage des fentes et la formation des filons d'argent comprend d'ailleurs trois périodes distinctes :

- 1^{re} Cristallisation d'une première chaux carbonatée, de quartz, de chaux fluatée, d'arsenic, de galène, de blende, d'argent rouge, d'argent sulfuré, d'antimoine et d'arséniate d'argent qui ont été déposés par une première dissolution venue par en bas.
- 2^{re} Cristallisation de la deuxième chaux carbonatée et du quartz, ainsi que du gypse et des silico-aluminates hydratés qui ont été déposés par une dissolution venue postérieurement.
- 3^{re} Formation d'argent natif, de réalgar, d'orpiment, de ganomatite, d'arséniate de nickel, d'acide arsénieux, de malachite, de pharmacolite, de chrysocolle, par une action réductrice de la vapeur d'eau et surtout par l'influence décomposante des agents atmosphériques qui se continue encore aujourd'hui.

Influence de la roche encaissante sur les gîtes métallifères.

Les caractères des filons sont, comme l'on sait, en relation avec la nature de la roche encaissante. L'influence de cette dernière est particulièrement bien marquée dans la vallée de Rench, dans la forêt Noire, où la roche encaissante modifie les filons métallifères, à la fois, dans leurs caractères physiques et chimiques.

M. Fr. Sandberger (1) observe d'abord que dans le gneiss ces filons sont plus larges que dans le granite.

Quant à leur gangue, elle paraît dépendre également de la roche encaissante. Ainsi, d'après M. Fr. Sandberger, la baryte sulfatée elle-même en proviendrait. Car les eaux chargées d'hydrogène sulfuré et des sulfures métalliques auraient d'abord attaqué le gneiss et dissous à l'état de sulfure de barium la baryte qui se trouve en petite quantité dans les feldspaths; en s'élevant avec les eaux minérales à une hauteur plus grande, ce sulfure de barium serait ensuite oxydé, d'où serait résulté un dépôt de baryte sulfatée.

Si la baryte sulfatée a souvent été détruite postérieurement aux filons, lorsqu'ils sont encaissés dans le gneiss, M. Fr. Sandberger pense qu'on peut l'attribuer à ce que ce gneiss se décompose facilement dans les environs de Rench, en sorte que la baryte sulfatée y était sans cesse lessivée par des eaux contenant des carbonates alcalins qui ont fini par la dissoudre.

Minerais de fer et de manganèse.

M. Hahn (2) a décrit les gîtes de minéral de fer et de manganèse des environs de Giessen et il a cherché à donner une théorie de leur formation.

Ces minerais se trouvent, sous une couche d'argile, au contact d'un calcaire dolomitique dévonien à stringocépages.

Selon M. Hahn la dolomitisation de ce calcaire provient d'abord de l'action lente des eaux superficielles, aidée par les produits de la décomposition des basaltes de la contrée. Les minerais devraient leur origine à la réaction du calcaire sur ces eaux primitivement chargées de carbonates de fer et de manganèse : les carbonates précipités auraient ensuite été transformés en oxyde de fer et de manganèse (braunite, pyrolusite, psilomélane). Enfin l'argile ferrugineuse qui les recouvre devrait être considérée comme le résidu

(1) *Neues Jahrbuch*, 1864, 484. — *Statistik der inneren Verwaltung des Großherzogthums Baden*, XVI, 53.

(2) *Zeitschrift d. deut. Geologischen Gesellschaft*, XV, 249.

de la décomposition du calcaire. Et si le fer est disséminé dans l'argile tandis que la pyrolusite est concentrée à la surface de la dolomie, cela tient, dit M. Hahn, à la moindre oxydabilité du carbonate de manganèse, qui a dû s'enfoncer plus profondément que le carbonate de fer avant d'être oxydé.

Ainsi, dans ce gisement, la dolomie, les minerais de fer et de manganèse, l'argile ferrugineuse qui les accompagne seraient considérés comme les produits de la décomposition d'un calcaire par des eaux s'infiltrant à travers un basalte. Toutefois, ces diverses hypothèses de M. Hahn ne nous paraissent pas suffisamment justifiées, et nous ne croyons pas qu'elles puissent être acceptées.

Gîtes métallifères métamorphiques.

La formation des gîtes métallifères qui se présentent en grandes lentilles, comme ceux de Rammelsberg, est assez difficile à expliquer. M. Bernhard de Cotta (1) s'est demandé si ces minerais n'auraient pas été introduits postérieurement par dissolution; mais alors il est bien difficile d'expliquer comment leur imprégnation aurait eu lieu sur une aussi vaste échelle, car il n'est pas possible d'admettre l'existence de vides atteignant les dimensions des lentilles de pyrites du Rammelsberg.

L'hypothèse d'un dépôt métallifère primitivement intercalé dans le schiste et probablement contemporain semblerait devoir être préférée. En outre les lentilles peuvent résulter d'actions moléculaires et en même temps de pressions qui auraient donné au schiste la structure schisteuse à laquelle elles sont parallèles. Ainsi la forme lenticulaire que le gîte du Rammelsberg présente dans son ensemble, tient sans doute à ce qu'il a été disloqué et complètement métamorphosé, lorsque les schistes de Wissembach ont été renversés sous les couches qu'ils recouvraient.

Comme M. B. de Cotta le remarque avec raison, on connaît plusieurs gîtes analogues à celui du Rammelsberg. Tels sont ceux d'Agordo dans les Alpes vénitiennes, de Schmollnitz en Hongrie, de Fahlun en Suède, de Rio Tinto en Espagne, de Domokos-Poschorita en Transylvanie et en Bukowine. Dans ces divers gisements les couches sédimentaires ne sont plus à l'état normal; car les lentilles de minerais se trouvent intercalées dans des schistes argileux ou dans des micaschistes, c'est-à-dire dans des roches métamorphiques. Il est donc probable que les caractères spéciaux de ces gîtes doivent être attribués au métamorphisme.

(1) *Berg und Hüttenmännische Zeitung*, 1864, 372.

Age d'une roche métamorphique d'après les minéraux qu'elle renferme.

En étudiant les terrains cristallins anciens de l'Amérique du Nord, M. Sterry Hunt (1) a été conduit à se demander si, en l'absence de restes fossiles, il ne serait pas possible de déterminer, au moins approximativement, l'âge d'une roche stratifiée métamorphique d'après la nature des minéraux que le métamorphisme y a développés.

Quelque douteuse que puisse sembler la solution de ce problème nous mentionnons quelques-unes des considérations sur lesquelles M. Sterry Hunt croit pouvoir s'appuyer.

Il commence par faire remarquer que les actions chimiques exercées par l'air, l'acide carbonique, l'eau et la végétation devaient être autrefois beaucoup plus intenses qu'aujourd'hui; puis il réserve que la décomposition, sous l'influence de ces agents, d'un contenant du quartz, de l'orthose et un feldspath à base de chaux donnera, d'une part, un sable grossier, composé de quartz et d'orthose, d'autre part, une argile fine formée de kaolin et de feldspath à demi décomposé. S'il y a des minéraux tels que le pyroxène et les feldspaths à base de chaux, ils fourniront d'ailleurs des carbonates terreux qui se retrouveront dans l'argile.

Maintenant, un sédiment grossier, composé de quartz et d'orthose, étant très-perméable aux eaux, perdra peu à peu ce qu'il pouvait contenir de chaux, de soude et de magnésie; il se réduira en définitive à de la silice, de l'alumine et de la potasse, c'est-à-dire aux éléments d'un trachyte, d'un gneiss ou d'un mica-schiste.

Au contraire, les argiles étant imperméables, conserveront toutes leurs bases, et le métamorphisme, en y développant des silicates basiques, les transformera en diorites et en dolérites.

Les sédiments de la première espèce donneront, dans la suite des âges, des roches de plus en plus pauvres en alcalis; d'abord ces derniers suffiront pour fixer l'alumine à l'état d'orthose et d'anorthose, puis une portion de l'alumine devra cristalliser à l'état de mica; bientôt le feldspath disparaissant, on aura des mica-schistes. Enfin, plus tard encore, on verra se développer le diathène et l'andalousite, silicates alumineux sans alcalis.

Les sédiments de la seconde espèce subiront, d'après M. Sterry Hunt, une diminution graduelle dans la proportion de la soude. se formera d'abord des feldspaths à base de chaux, puis du grenat et de l'épidote.

(1) *Americ. Jour.*, XXXVI, 214.

Ensuite la magnésie remplacera la chaux, et donnera de la chlorite; et toujours l'excès des silicates terreux sur le silicate d'alumine sera représenté par de l'amphibole, du pyroxène, etc.

Suivant M. Sterry Hunt, les roches métamorphiques du nord de l'Amérique justifient plus ou moins ces hypothèses. D'après cela il y établit quatre groupes, ainsi rangés par ordre d'ancienneté:

1° Le groupe laurentien est formé par un gneiss granitoïde, la plus ancienne roche sédimentaire du globe, associé à un peu de diabase. Le fer est très-rare dans les couches et se trouve concentré dans des amas immenses d'hématite et de fer oxydulé. Le graphite y est fréquent et accompagné d'apatite.

2° Le groupe du Labrador se distingue par le développement des feldspaths anorthoses dans les hypérites et les labradorites. Il y a aussi des lits de gneiss.

3° Le groupe de Québec (silurien inférieur) se compose d'un gneiss moins granitoïde que le premier, et de diorites à grain fin qui sont accompagnées de schistes chloritiques. La prédominance de la magnésie se manifeste par le développement de la dolomie, de la magnésite, de la stéatite et de la serpentine.

4° Les schistes métamorphiques du silurien supérieur et du dévonien sont des schistes quartzeux et micacés, plus ou moins feldspathiques, avec andalousite. En outre, ils sont traversés par un granite éruptif, tandis que les granites des périodes précédentes seraient simplement métamorphiques.

Enfin, M. Sterry Hunt indique un essai de parallélisme entre les couches métamorphiques de l'Amérique et celles de l'Europe. Il est porté à croire notamment que le système laurentien serait l'équivalent du gneiss de la Scandinavie, et que le groupe de Québec correspondrait aux schistes primitifs de la Norwège.

3

EXTRAITS DE GÉOLOGIE

Par MM. DELESSE et A. DE LAPPARENT.

DEUXIÈME PARTIE.

PALÉONTOLOGIE.

Successions des faunes.

M. Ramsay (1), dans son adresse à la Société géologique de Londres, a traité le sujet des discordances entre les assises des terrains mésozoïques d'Angleterre, en étudiant surtout les relations des diverses faunes superposées, et les passages d'une espèce à une autre.

Il a reconnu qu'il y a une discordance véritable, quoique peu sensible, entre le grès bigarré et les marnes irisées. Entre le lias et le portlandien, il n'y a pas d'interruption complète dans les faunes; dans deux cas seulement, leur différence est très-marquée. Maintenant, entre l'oolithe et la craie, il y a discordance complète, non-seulement dans les espèces, mais encore dans les genres; ces deux formations sont donc séparées par une grande lacune, qui paraît correspondre aux dépôts locaux de Purbeck et du Weald.

Enfin M. Ramsay pose en principe que, suivant qu'il y a plus ou moins de continuité dans deux faunes superposées, et suivant qu'il y a plus ou moins d'extinctions de genres anciens et d'apparitions de genres nouveaux, il s'est écoulé plus ou moins de temps entre le dépôt des deux assises.

Types mixtes.

M. Dana, dans son *Manual of geology*, a beaucoup insisté sur ce qu'il appelle, en zoologie, les types compréhensifs, c'est-à-dire

Geological Society, 1861.

TOME VIII, 1865.

les types mixtes établissant le passage d'une classe d'animaux à une autre. Il manquait cependant à sa série un terme intermédiaire entre les oiseaux et les reptiles. Cette lacune vient d'être comblée par M. Hitchcock (1) qui a étudié de nombreuses espèces de pas fossiles de la vallée du Connecticut. Après avoir vu qu'elles appartenaient à quatorze espèces de bipèdes qu'il appelle lithichnozoaires, il a cherché à prouver, par l'examen des parties de l'anomæpus intermedius, que ces animaux étaient des oiseaux inférieurs, voisins des reptiles, et il a rapproché cette conclusion de la découverte récente d'un fossile empenné, l'archæopteryx, dans les schistes de Solenhofen.

Travaux divers. — Monographies.

Le nombre des travaux paléontologiques qui sont publiés chaque année est tellement considérable, qu'il serait impossible d'en faire compte dans cette revue; nous devons donc nous borner à mentionner les principaux: les uns se placent naturellement sous les descriptions de terrains, d'autres ont un caractère monographique. Ce sont ces derniers dont nous allons donner un rapide aperçu en les associant par groupes suivant les ouvrages périodiques dans lesquels ils ont été insérés.

Journal de Conchyliologie, 1863 et 1864.

C. Mayer. Sur quelques mollusques tertiaires. — Liste de mollusques jurassiques et diagnose d'espèces nouvelles.

Munier-Chalmas. Sur les genres *Anisocardia* et *Perisora* de la mer kimmérienne.

Paléontologie française. — Continuation des échinides crétacés par le Comte de S. — Commencement des brachiopodes jurassiques par le Comte de S. longchamps.

Société Linnéenne de Normandie. — Histoire des Téléosauriens de Caen par M. Eudes Deslongchamps.

Quarterly Journal of the geological Society of London.

Powrie. Fossiles dévonien du Forfarshire (1864, 413).

Sesley. Ammonites du grès vert (1864, 166).

Wright. Échinides fossiles de Malte (1864, 470).

Société paléontologique d'Angleterre.

Wright. Échinodermes créacés d'Angleterre.

Salter. Trilobites. L'auteur décrit et détermine 40 espèces, appartenant aux genres *Phacops*, *Cheirurus*, *Sphaerexochus*, *Amphioxys*.

(1) *American Journal*, XXXVI, 46.

Davidson. Brachiopodes dévonien d'Angleterre. Les espèces décrites sont: *Terebratula* (4), *Renssæleria* (1), *Stringocephalus* (1), *Athyris* (4), *Merista* (1), *Uncites* (1), *Spirifera* (14), *Spiriferina* (2), *Cyrtina* (3), *Atrypa* (3). *

Les plus importantes à signaler, parce qu'elles figurent pour la première fois sur la liste des fossiles d'Angleterre, sont: *Uncites gryphus*, *Atrypa lepidus*, *Renssæleria stringiceps*, *Spirifera subcuspidata*, *Sp. cultrijugata*, *Sp. undifera*, *Sp. curvata*.

Wood. Mollusques bivalves éocènes. *Modiola* (5), *Arca* (18), *Cucullæa* (1), *Pectunculus* (10), *Limopsis* (2), *Trigonocælia* (2), *Nucula* (23), *Leda* (9), *Unio* (7).

Owen. Suite des reptiles des formations crétacées et wealdiennes: livraison consacrée spécialement aux plésiosaures.

Geological magazine.

Davidson. Espèces modernes et fossiles du genre *Thacidium* (I, 12).

Day. Sur les genres *Acrodus* et *Hybodus* (I, 57).

H. Woodward. Sur l'*Eurypterus lanceolatus* (I, 107).

S. Woodward. Sur la *Plicatula sigillina*, fossile nouveau de la craie supérieure (I, 112).

Günther. Sur un nouveau poisson fossile de la craie inférieure, le *Phnithoporus robustus* (I, 114).

Woodward. Sur quelques nouveaux crustacés paléozoïques (*Slimonia* et *stylonurus*) (I, 196).

Meyer. Brachiopodes du grès vert inférieur de Surrey (I, 249).

Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft.

Strüver. Poissons fossiles du Keuper de Cobourg (XVI, 303).

Martens. Sur quelques fossiles d'eau douce de la Sibirie (XVI, 345).

Neues Jahrbuch von Leonhard und Geinitz.

Richard Andree. Fossiles du bassin houiller de Stradonitz en Bohême (1864, 160).

H. von Meyer. Ruminants tertiaires de Steinheim près Ulm (1864, 187).

Geinitz. Sur le *Palæosiren Beinerti*, nouveau reptile du dyas inférieur (1864, 513).

Illiman American Journal.

Meek. Remarques sur la famille des Aviculides (XXXVII, 212).

Dana. Sur quelques insectes fossiles du terrain carbonifère de l'Illinois (XXXVII, 34).

Winchell. Sur une collection de fossiles du grès de Potsdam en Wisconsin et en Michigan. — Sur les Nautilites et les Goniatites des terrains anciens du Michigan (XXXVII).

Ouvrages divers.

Winchell. Description des fossiles des grès jaunes de Burlington (Iowa). (*Actes de la Société de Philadelphie.*)

Ooster. Fossiles des Alpes suisses (Bâle, 1863).

Rutimayer. Sur les chevaux fossiles (Bâle, 1863).

Schafhäult. Le Krossemberg et les Alpes bavaroises (Leipzig, 1861).

Speyer. Les ostracodes du terrain tertiaire de Cassel (Cassel, 1863).

M. J. Morris (1) a publié une liste complète des fossiles rencontrés dans les formations siluriennes et cambriennes de l'Angleterre; cette liste est accompagnée d'un tableau comparatif de étages paléozoïques inférieurs de diverses contrées. En outre M. Morris a pris la précaution de joindre au nom de chaque fossile une indication qui permet de se reporter à un type fig.

M. Agassiz avait classé dans le genre *Cephalaspis* certains restes fossiles qu'on trouve dans le cornstone dévonien du Bedfordshire; plus tard, M. Kner avait cru reconnaître dans ces fossiles les caractères d'un osselet de céphalopode, et il en avait fait le genre *Pteraspis*, voisin des seiches. Depuis, M. Huxley avait fait rentrer de nouveau le *Pteraspis* dans la classe des poissons. La question vient d'être tranchée dans ce sens par la découverte de M. Ray Lankester (2) qui a trouvé, à Crediton, une portion du bouclier céphalique d'un *Pteraspis* avec une série d'écailles adhérentes.

Epyornis.

M. G. Bianconi (3) a cherché à établir que l'*Epyornis* n'est pas au lieu d'être de la famille des autruches, comme l'a dit J. Geoffroy Saint-Hilaire, appartient aux rapaces; ce serait, selon lui, le Ruch de Marco Polo.

Toutefois ce résultat n'a pas été accepté par les paléontologistes français, particulièrement par M. A. Milne-Edwards, qui a fait observer à la Société géologique que la patte de l'*Epyornis* n'avait aucun des caractères des rapaces.

Céphalopodes.

M. le professeur Albert Oppel, dont la science déplore la perte récente, a continué la publication de ses travaux sur les céphalopodes jurassiques (4). Cet ouvrage, édité avec un grand luxe, est consacré principalement à la description des ammonites.

(1) *List of British fossils*. London.

(2) *Geological Society*, 1864, 1864.

(3) *Bologna* (1863-1865). — Extrait par M. de Mortillet.

(4) *Paläontologische Mittheilungen*. Stuttgart, 1863.

d'Allemagne; de plus il contient 24 espèces d'ammonites jurassiques qui ont été recueillies dans le Thibet par les frères Schiagintweit. M. Oppel distingue, dans sa livraison de 1863, quatre zones principales :

1° Zone de l'Amm. transversarius ou couches de Birmensdorf, correspondant à l'Oxford-Clay;

2° Zone de l'A. bimammatus ou couches de Lothen, équivalent de l'oolithe d'Oxford;

3° Zone de l'A. tenuilobatus, ou couches de Thalmassing, qui paraît correspondre au kimméridien inférieur d'Oppel (corallien des géologues français);

4° Zone de l'A. Steraspis, ou couches lithographiques de Solenhofen (Kimmeridge-Clay).

Mais ce qui mérite une mention particulière, ce sont les conclusions auxquelles l'étude des ammonites de Solenhofen a conduit M. Oppel relativement à la vraie nature des Aptychus. Il a reconnu que chaque espèce a un aptychus qui lui correspond, et que souvent les caractères de cet aptychus sont assez tranchés pour permettre de distinguer l'espèce à laquelle il appartient des espèces voisines.

Cette question, longtemps controversée, a donc enfin reçu sa solution définitive. Ajoutons que M. Eug. Deslongchamps (1), à la suite de ses recherches personnelles, était arrivé à la même conclusion que M. Oppel.

Spongiaires.

M. J. A. Roemer (2) s'est occupé des spongiaires appartenant à la craie du nord de l'Allemagne. Il y distingue 7 familles : Coeloptychidea, Cribrospongidea, Siphonidea, Siphonoccelidea, Jereidea, Limnoridea, Chenendoporidea, Sparsispongidea, Amorphospongidea. Ces familles comprennent 45 genres qui sont eux-mêmes très-riches en espèces.

PALÉOPHYTOLOGIE.

Travaux divers.

M. Göppert a publié, dans les *Palaeontographica* de Dunker et Meyer, les deux premières livraisons de ses études sur la flore

(1) *Société Linéenne*, t. VII.

(2) *Neues Jahrbuch* von Leonhard und Gelnitz, 1864, 463, et *Palaeontographica*.

fossile permienne. La première comprend la description des familles Fungi, Algæ, Calamariæ, Filices.

La seconde est consacrée aux Fougères. Le *Neuropteris* Leidl. Brongn., est la seule plante qui soit commune au terrain permien et au terrain carbonifère inférieur ou culm. En revanche, le terrain houiller proprement dit contient plusieurs espèces permienes.

M. Leckenby (1) a décrit les végétaux fossiles de l'oolithe de Scarborough.

M. Stichler (2) a publié des tableaux raisonnés des plantes monocotylédones fossiles. Tandis que l'on connaît 8.335 espèces vivantes de plantes monocotylédones, groupées en 1099 genres, 5 familles et 8 classes, on n'a encore signalé, dans toute la série des terrains, que 565 espèces fossiles, appartenant à 95 genres, 4 familles et 6 classes.

Parmi ces 565 espèces, 480 n'ont été trouvées qu'en 12 en Asie, 1 en Afrique, 2 dans l'Amérique du Nord, 7 dans le Sud, 1 en Australie; 1 est commune à l'Europe et à l'Asie, l'Europe et à l'Amérique.

TERRAINS PALÉOZOÏQUES.

TERRAINS ANTÉRIEURS AU TERRAIN SILURIEN.

Découverte de fossiles dans le terrain laurentien.

A mesure qu'on étudie de plus près les formations géologiques, on finit par découvrir des vestiges de la vie organique dans des terrains qu'on aurait cru, jusqu'ici, devoir rapporter à la série azoïque.

Ainsi, en 1863, un géologue canadien, M. J. Mac Hailen, a trouvé, dans un calcaire serpentiniteux, du système laurentien inférieur, des formes d'apparence organisées, dans lesquelles M. Dawson (3) a reconnu des foraminifères analogues à l'espèce *Carpenteria*, mais présentant plus de ressemblance avec les genres

(1) *Geological Society*, 1864; 74.

(2) *Atti dell' Istituto Veneto*, X (extraire par M. G. de Meekill).

(3) *American Journal*, XXXVII, 273.

Calcarina et Nummulite, opinion confirmée depuis par MM. Carpenter et Rupert Jones. M. Dawson a donné à cette espèce le nom d'*Eozoön Canadense*. Toutes les cavités de ce fossile sont remplies de serpentine.

De grandes portions des calcaires laurentiens paraissent constituées par ces organismes, mélangés avec des fragments impossibles à déterminer, mais qui rappellent les formes des crinoides. En outre, quelques-uns de ces calcaires sont plus ou moins colorés par une matière charbonneuse, dans laquelle M. Dawson a reconnu, sous le microscope, des traces de structure organisée.

Nouvelle division des terrains sédimentaires inférieurs.

Cette découverte a conduit Sir Charles Lyell (1) à remanier sa classification des terrains stratifiés. Dans la cinquième édition de son manuel, il avait rangé dans le système cambrien toutes les couches stratifiées inférieures au silurien; aujourd'hui il reconnaît deux divisions : le terrain cambrien et le terrain laurentien, qu'il divise de la manière suivante :

cambrien.	supérieur. (zone primordiale de M. Barrande.)	Schistes de Tremadoc et Lingule-flags.
	inférieur. (Groupe du Longmynd).	Grès d'Harlech et schistes de Llanberis.
laurentien.	supérieur.	Gneiss fondamental des Hébrides. Série du Labrador au Canada.
	inférieur.	Manque en Angleterre. Gneiss et quartzites du Canada, avec calcaires interstratifiés à <i>Eozoön canadense</i> .

Terrain laurentien.

M. Bigsby (2) a présenté une description succincte de l'étage laurentien, tel qu'il a été défini par les géologues canadiens. C'est sir W. Logan que revient l'honneur d'avoir, le premier, nettement indiqué que ce terrain était composé de couches sédimentaires altérées, sur lesquelles la vie organique a pu être autrefois très-florissante.

On y distingue trois sortes de roches :

1) *Elements of Geology*, 5^e édition.

2) *Geological mag.*, 1, 154.

1° Un gneiss à orthose, avec quartzite, schistes amphiboliques micacés, pyroxène et roche de grenat;

2° Un calcaire blanc cristallin, et des dolomies, en bancs nombreux et épais, contenant serpentine, pyroxène, amphibole, mica, graphite, mineral de fer, apatite, spath fluor, etc., avec lits interstratifiés de gneiss;

3° Une anorthosite, ou roche formée par un feldspath du système et à base de chaux, avec hypersthène, ilménite, pyroxène amphibole, graphite.

Ces trois groupes sont traversés par des filons granitiques métallifères.

Le gneiss est très-contourné et sa direction est généralement N.-E. au S.-O.

Le calcaire est à grain très-grossier; les cristaux isolés atteignent parfois plusieurs centimètres. Il est associé, à Bastard, sur la rivière Ottawa, avec des conglomérats et des grès qui affirment l'origine sédimentaire du système laurentien. A ce propos, M. ^{Bigby} rappelle que, dès 1846, M. Élie de Beaumont avait reconnu la nature sédimentaire du gneiss scandinave.

Les anorthosites ont une grande importance au point de vue de l'agriculture, à cause de la chaux qu'elles contiennent.

M. Bigsby recherche ensuite les équivalents étrangers du terrain laurentien. Il signale le gneiss de la Scandinavie et le granit fondamental des Hébrides, qui, tous deux, sont presque identiques, sous tous les rapports, au gneiss du Canada. Il pense que sur les deux granites de la Bretagne française, celui qui est à grain fin et porphyrique pourrait bien être laurentien, ainsi que les collines du Forez et de Tarare dans le plateau central. Enfin il est possible que certains granites des Vosges appartiennent au même étage.

Terrain tacotique.

Le deuxième volume de la *Revue* a présenté avec d'assez grands détails l'histoire du débat engagé entre M. Marcou et sir W. Logan sur les terrains anciens de la pointe Lévis. Depuis sa publication, sir W. Logan a écrit à M. Barrande (1) pour combattre les faits mentionnés dans la lettre de M. Marcou, du 2 août 1886. Il a maintenu toutes ses conclusions.

Cependant M. Marcou (2), à la suite d'une nouvelle expé-

(1) *American Journal*, XXXVI, 366.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 224.

TERRAIN.

505

tion, persiste à ranger dans le système tacônique, avec le grès de Potsdam, toutes les lentilles trilobitiques de la pointe Lévis, où se trouvent les fossiles de la faune primordiale, avec d'autres formes qui prophétisent la faune seconde ou le silurien inférieur. Le terrain tacônique supérieur du bas Canada serait alors formé des groupes suivants :

GROUPE.	LOCALITÉ.
Grès de Potsdam (partie inférieure).	Chutes de Montmorency et de Lorrette.
Groupe de Québec.	Québec et route de Charlesbourg pointe Lévis.
Groupe de la pointe Lévis.	
Groupe de la Chaudière.	Chute de la chaudière et bords des rivières Echemin et Chaudière, vers leurs embouchures dans le fleuve Saint-Laurent.

TERRAIN SILURIEN.

Faune.

M. Barrande (1) continue ses études si intéressantes sur la paléontologie de la Bohême. Il vient de publier un magnifique atlas de 107 planches, qui figurent une partie des céphalopodes siluriens du centre de ce bassin. Cette première série comprend dix genres, réunis dans le tableau suivant :

(1) *Système silurien de la Bohême*, II, pl. 1 à 107.

Numéros.	GENRES.	ÉTAGES								Total et variétés distinctes.
		A	B	C	D	E	F	G	H	
I.	Goniolites. de Hann. .	"	"	"	"	"	4	12	1	17
II.	Nothoceras. Barr. . . .	"	"	"	"	"	"	1	"	1
III.	Trochoceras. Barr-Hall.	"	"	"	"	41	2	4	"	47
IV.	Nautilus. Linn. . . .	"	"	"	"	5	"	2	"	7
V.	Gyroceras. Konk. . . .	"	"	"	"	"	1	6	1	8
VI.	Hercoceras. Barr. . . .	"	"	"	"	"	"	2	"	2
	Lituites. Broyn. . . .	"	"	"	1	"	"	"	"	1
VII.	Sous genre Ophioceras. Barr. . . .	"	"	"	"	7	"	"	"	7
VIII.	Phragmoceras. . . . Brod. . . .	"	"	"	"	25	"	9	"	34
IX.	Gomphoceras. . . . Sow. . . .	"	"	"	1	82	1	6	"	90
	Asioceras. Barr. . . .	"	"	"	"	11	"	"	"	11
X.	S. g. Aphragmites. . . Barr. . . .	"	"	"	"	2	"	"	"	2
	S. g. Glossoceras. . . Barr. . . .	"	"	"	"	2	"	"	"	2
	Total.	"	"	"	2	155	3	47	2	207

Les lettres qui désignent les étages sont celles adoptées précédemment par M. Barrande dans son ouvrage classique sur le système silurien de la Bohême.

— La faune silurienne troisième a été rencontrée par M. Collaud (1) dans la Loire-Inférieure, dans les exploitations de calcaire d'Erbray et de Saint-Julien de Vouvantes. Ce savant signale, entre autres fossiles caractéristiques : *Calymene Blumenbachii*, *Harpes venulosus*, *Terebratula princeps*, *T. nymphe*, qui se retrouvent en Bohême dans les étages E et F de M. Barrande.

France. — M. P. Dalimier (2), qu'une mort prématurée a récemment enlevé à la science, avait entrepris une comparaison entre les assises siluriennes de la Bretagne et celles de diverses autres contrées.

Il l'a résumée dans le tableau suivant, qu'il nous paraît utile de reproduire en entier :

(1) *Annales de la Société académique de la Loire-Inférieure*.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 126.

Silurien supérieur.	ne s'explique.	Manque.	Schistes à cardiola inter-rupta. (Saint-Sauveur)	Angleterre.	Espagne.	Amérique.
Silurien moyen.	3. Grès silurien à faune de May (Géard).	3. Grès silurien à faune de May (Géard).	May (Calvados).	Grès de Caradoc.	Grès à Bilobites (d'après M. Casiano de Prado).	Grès de Médina.
	7. Schistes à graptolites (Paligné).	7. Schistes à graptolites (Paligné).	Schistes à graptolites colonus (Mortain), grès sans fossiles.		Schistes à Graptolites (province de Tolède).	Calcaire à Graptolites (schistes d'Hudson River).
	8. Grès blanc sans fossiles.	8. Grès blanc sans fossiles.				
Silurien inférieur.	6. Schistes ardennais à Scolithus et à Lingule.	6. Schistes ardennais à Scolithus et à Lingule.	Schistes de Mortain, Cherbou, Sjurville, Paillase.	Llандайле flags.	Schistes à faune secondairesilurienne et grès fossilifères.	Calcaire de Trenton.
	4. Grès blancs à Scolithus et à Lingule.	4. Grès blancs à Scolithus et à Lingule.	Grès semblable (partout).	Lingula flags (Galle). stipéritions (Sprophire).		
	3. Schistes rouges et poudingues. (Grauwacke de vin, grès pourpre.) (Calcaire rare).	3. Schistes rouges et poudingues. (Grauwacke de vin, grès pourpre.) (Calcaire rare).	Poudingue de Clég, schistes de Thorigny, Coutances (calcaire rare).	Grès pourpres d'Esco.		Grès de Potsdam.
Cambrien.	2. Phyllades vertes, avec quatz grès et grès sombres associés.	2. Phyllades vertes, avec quatz grès et grès sombres associés.	Phyllade de Saint-Lô, de Condé-sur-Noireau.		Faune à paradoxides.	Système huronien (Lac Huron).
	1. Schistes métamorphiques et gneiss.	1. Schistes métamorphiques et gneiss.	Schistes semblables partout.	Cambrian system (Longmynd). Gneiss fondamental (Ecosse).	Schistes métamorphiques.	Système laurentien (Canada).

Remarquons, en passant, que le mot silurien moyen ne paraît pas avoir la même signification pour M. Dalimier que pour Sir Ch. Lyell, qui, dans ses *Éléments de géologie*, classe le Caradoc et le Llandeilo dans le silurien inférieur.

Angleterre. — M. Lyell (1) a définitivement introduit, dans sa classification des terrains, l'étage silurien moyen. Dans la précédente édition de ses *Éléments*, il s'était contenté d'indiquer, entre le silurien inférieur et le silurien supérieur, des couches de passage comprenant le Caradoc et le May-Hill. Cette fois il est plus explicite, et restituant le Caradoc au silurien inférieur, il fait des grès de May-Hill et du Llandovery un étage moyen, par cette raison que, si les fossiles de May-Hill se rapportent à la faune silurienne supérieure et ceux de Llandovery à la faune inférieure, du moins il n'y a aucune discordance de stratification entre les deux assises, qui toutes deux sont caractérisées par les mêmes.

M. Salter (2) a découvert, dans les *Lingula-flags* du nord du Galles, de nouvelles espèces de trilobites appartenant à la faune primordiale; il leur a donné les noms de *Paradoxides* *Henrici*, *Anopolenus* *Henrici*, *Conocoryphe* *variolaris*, *Holocephalus* *primordialis*, *Agnostus* *princeps*, *Microdiscus* *punctatus*. En outre, il a trouvé une éponge, genre inconnu jusqu'ici dans la faune primordiale, qu'il a nommée *Protospongia fenestrata*. Il est intéressant de voir la faune première bien développée dans ces couches qu'on rapportait autrefois au terrain cambrien.

Les schistes de Skiddaw, situés au-dessus des couches de Tremadoc, avaient d'abord été regardés comme azoïques. Cependant, on y a trouvé des graptolites, et des recherches récentes, faites par M. Harkness (3), ont amené la découverte d'un crustacé, que M. Salter a nommé *Caryocaris*. En outre, le nombre des graptolites a été accru: on a trouvé des représentants des genres *Dendrograpsus*, *Phyllograpsus*, *Tetragrapsus*, *Dichograpsus*, *Didymograpsus*, *Diplograpsus*. A ce propos, M. Harkness observe que les plus anciens graptolites sont ceux dont le dessin est le plus compliqué, et que ce fait est en désaccord avec la théorie du grès continu dans l'organisation des êtres.

Les fossiles siluriens du centre de l'Europe, ceux qu'on trouve

(1) *Elements of Geology*, 5^e édition.

(2) *Geological Society*, 1864; 221.

(3) *British Association*, 1863. Trans. 89.

en France et en Espagne, et que MM. Barrande et de Verneuil ont identifiés avec ceux de la Bohême, n'avaient jamais été rencontrés jusqu'ici en Angleterre. M. Vicary les a trouvés, sur la côte de Devon, à Budleigh Salterton, dans les galets d'un conglomérat permien formé aux dépens des terrains anciens. M. Salter a étudié ces fossiles (1), et y a reconnu les espèces de grès de May en Normandie, notamment l'*Hemalonotus Irongiaerti*, la *Calymene Tristani*, le *Phacops incertus*, ainsi que trois espèces de lingules décrites par M. Rouault dans le grès armoricain de Montfort. M. Salter a donné la liste complète et la description de ces fossiles.

Allemagne. — M. Richter (2) a étudié les schistes anciens de la Thuringe et donné la description d'espèces fossiles nouvelles, appartenant aux couches à stériles et à tentaculites : ces couches reposent sur des schistes siliceux et aluminés, contenant les graptolites de l'étage E de M. Barrande, et M. Richter les considère comme faisant partie de l'étage silurien supérieur.

Amérique. — M. Honeyman (3) a étudié le terrain silurien du district d'Armag, dans la Nouvelle-Écosse, sur la rive du golfe Saint-Laurent : il y a retrouvé les équivalents de plusieurs des assises siluriennes anglaises, notamment du grès de May Hill du Ludlow inférieur, du calcaire d'Ajmer et du Ludlow supérieur.

TERRAIN DÉVONIEN.

Vieux grès rouge d'Angleterre.

MM. Sedgwick et Murchison ont toujours regardé, dans l'ouvrage de leurs travaux, le vieux grès rouge d'Angleterre comme un terrain dévonien. Mais on manquait jusqu'ici de preuves positives à l'appui de cette assimilation, et maintenant qu'on possède une série de caractères, c'était que le vieux grès rouge anglais était vraiment dévonien.

M. Salter (4) a cherché à établir le caractère du terrain dévonien.

(1) *Ceological Society*, vol. 206.

(2) *Zeit. d. d. G. G.*, X, 100.

(3) *Ceological Society*, 21, 202.

(4) *Ceological Society*, X, 404.

les couches supérieures de cette formation, et il a trouvé que l'identité du vieux grès rouge avec le dévonien était parfaitement justifiée, tant par la position des couches que par la nature des fossiles.

Reptiles dans le vieux grès rouge.

Les terrains qui constituent le sol du N.-E. de l'Écosse, aux environs d'Elgin, avaient été unanimement rapportés au vieux grès rouge jusqu'à la découverte des débris d'un crocodile (*Stegolepis*), trouvés dans la partie supérieure de ce groupe de roches. A cette époque, les paléontologistes crurent devoir restituer au trias le grès fossilifère d'Elgin. Mais M. Harkness (1), après avoir réuni un grand nombre de coupes géologiques de la contrée, a clarifié que les différentes assises sont en parfaite concordance stratification, et que les grès à reptiles d'Elgin sont bien partie du vieux grès rouge, ainsi que les grès de la côte du Comté d'Inverness dans lesquels l'on a découvert des traces de poissons.

Gallicie. — Il existe à Dembnick, dans le territoire de Cracovie, des carrières de marbre noir, fournissant de bons matériaux pour la construction des édifices : ce marbre, très-peu fossilifère, est entouré de tous côtés par du calcaire carbonifère, on l'a même rapporté au même étage. Mais M. Ferd. Roemer (2) y a trouvé l'*Atrypa reticularis* et quelques autres vestiges fossiles qui caractérisent cette formation dans l'étage dévonien moyen.

Bosphore. — M. Swan (3) a fait une étude sommaire des roches du Bosphore ; d'après l'examen des fossiles, il les a classées dans le terrain dévonien inférieur, à peu près au niveau du grès fossilifère.

De son côté, M. Roemer (4) a cru pouvoir établir que le système de couches, composé de schistes argileux, de grauwackes et de calcaires, sur lequel sont bâtis la ville de Constantinople et ses faubourgs, appartient, non pas à l'étage inférieur, mais aux assises moyennes et supérieures du groupe dévonien.

(1) *Geological Society*, 1864 ; 429.

(2) *Zeit. d. d. G. G.*, XV, 798.

(3) *Geological Society*, 1864 ; 113.

(4) *Neues Jahrb.*, 1863 ; 513.

Mais M. de Verneuil (1), qui a examiné tous les fossiles recueillis par M. de Tschihatchef, maintient que les terrains du Bosphore sont tout à fait à la base du terrain dévonien, et que même, en certains endroits, ils contiennent des espèces appartenant à la faune silurienne, phénomène assez fréquent sur la limite de ces deux formations, car la fin de la période silurienne n'a pas été marquée par une brusque destruction de la faune existante.

Canada. — Les membres du Geological Survey pour le Canada ont reconnu, dans la presqu'île de Gaspé, au sud de l'embouchure du Saint-Laurent, une grande épaisseur de grès, conglomérats et schistes appartenant à la période dévonienne, et riches en plantes fossiles (2). Les conglomérats contiennent des fragments de végétaux et des Ichthyodorulites des genres *Onchus* et *Machærocanthum*. Vers la partie supérieure des schistes sont des lits argileux pénétrés par des racines de *Psilophyton*.

Le Canada oriental contient aussi plusieurs des étages du système dévonien de New-York, depuis la formation de Chemung jusqu'à celle d'Oriskany, et l'on peut les suivre d'une manière continue comme dans le district du Niagara.

TERRAIN CARBONIFÈRE.

Faune. — Fossiles marins dans le terrain houiller.

En 1861, M. Korfer avait découvert près de Kattowitz, dans la haute Silésie, un gisement de fossiles marins dans un schiste du terrain houiller exploitable. M. F. Roemer a donné (3) la description de ces fossiles, et il termine son travail par quelques observations générales que nous résumons ici :

1° On trouve, dans quelques mines de la haute Silésie, immédiatement au-dessus d'une couche puissante de houille, un lit schisteux à sphérosidérile contenant des coquilles marines des genres *Orthoceras*, *Nautilus*, *Goniatites*, *Bellerophon*, *Nucula*, *Arca*, *Pecten*, *Productus*, *Orthis*, *Lingula* et *Discina*.

2° Des faits analogues ont été constatés en Westphalie, en Belgique, en Angleterre, en Amérique, et dans le nord de la France.

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 147.

(2) *Lyell. Elements of Geology*, 342.

(3) *Zeitschrift d. deut. Geologischen Gesellschaft*, XV, 207.

3° Les espèces découvertes, bien qu'analogues à celles du calcaire carbonifère, constituent cependant une faune assez bien caractérisée.

4° Elles se rencontrent surtout vers la base de la formation houillère exploitable, au-dessus du millstone-grit, de sorte que leur apparition peut servir à caractériser les assises inférieures de cette formation.

Il convient de rapprocher de ce travail les observations de M. Ludwig (1) sur les fossiles marins qu'on trouve dans le terrait houiller exploitable du bassin de la Ruhr, le plus souvent dans les assises inférieures, mais quelquefois tout à fait en haut de la formation. M. Ludwig décrit les espèces suivantes :

Goniatites cretistria, Phill., G. Listeri, Sew.

G. arcuatilobus, Lg.

Clymenia spirorbis, Lg.

Nautilus vanderbechi, Lg.

Littorina oblonga, Lg.; *natica*.

Pecten primigenius, von Meyer; *P. subpyracæus*, Lg.

Avicula lunulata, Phill.; *av. tumida*, de Kon.

Cypricardia squamifera, de Kon.

Cardiomorpha squamifera, de Kon; *C. sulcata*, de Kon.

Enfin M. Tate (2), en signalant la découverte d'une étendue de mer, le *Cribellites carbonarius*, dans le calcaire carbonifère de Northumberland, a appelé l'attention sur la coexistence, à différentes époques de la période houillère, des espèces marines avec des plantes terrestres. Il conclut de ses observations que les conditions du dépôt, après avoir commencé par être incontestablement marines, sont devenues, par des causes diverses, celles d'un estuaire, et que parfois le dépôt prenait un caractère exclusivement d'eau douce.

Poissons du calcaire carbonifère.

Les carrières de calcaire carbonifère d'Oreton et de Farin, dans le Shropshire, ont fourni de nombreux débris de poissons, et M. Morris (3) a retrouvé les genres *Orodus*, *Deltodus*, *Psalmodus*, *Cladodus*, *Cochliodus* et *Helodus*. En annonçant cette

(1) V. Meyer's. *Paleontogr.*, X, 376.

(2) *British Association*, 1863 — *Transactions*, 96.

(3) *Quarterly Journal*, 1862; 94.

couverte, le savant professeur a fait suivre sa communication d'un tableau où les poissons fossiles de l'Angleterre sont énumérés par gisements.

Reptiles.

Les vertébrés à respiration aérienne trouvés en 1853 dans les schistes houillers de Caluke, en Écosse, n'avaient pas été rencontrés en Angleterre et dans le pays de Galles. Cette lacune vient d'être comblée par M. Lee, qui a découvert dans le comté de Clamorgan les restes d'un animal de ce genre auquel M. Owen (1) donne le nom d'*Anthrakerpeton crassosteum* : ce fossile offre, par la forme de son squelette, plus d'analogie avec les reptiles sauriens qu'aucun des batraciens de l'époque actuelle; il a été trouvé à la base de l'étage moyen des coal-measures.

Du reste, il y a longtemps que des reptiles à respiration aérienne ont été signalés dans le terrain houiller de la Nouvelle-Écosse. M. W. Logan les signalait dès 1841 à Norton - Bluff, et depuis M. Dawson (2) leur a consacré une description spéciale.

Flore.

L'existence de végétaux monocotylédons proprement dits pendant la période houillère avait été jusqu'ici plus ou moins contestée. M. Göppert (3) cite plusieurs faits récents qui le mettent hors de doute, et qui justifient, suivant lui, la doctrine du progrès continu de la végétation depuis les époques les plus reculées jusqu'à l'apparition des Dicotylédons.

M. Dawson (4) a publié une synopsis de la flore houillère dans la Nouvelle-Écosse; ce travail embrasse 148 espèces, parmi lesquelles 92 ont déjà été trouvées en Europe, et 59 dans les États-Unis d'Amérique : par suite, dans l'état actuel de la science, 42 sont spéciales à la Nouvelle-Écosse.

Le plus grand nombre de ces espèces appartiennent à l'étage moyen du terrain houiller.

Les plantes caractéristiques de l'étage inférieur sont : *Lepidodendron corrugatum* et *Cyclopteris acadica*.

Dans l'étage moyen dominent les genres *Sigillaria*, *Calamites*, *Lepidodendron*, et les fougères.

(1) *Geological mag.*, II, 6.

(2) *Canadian naturalist*, VIII.

(3) *Zeit. d. d. G. G.*, XVI, 175.

(4) *The Canadian naturalist*, 1863; 431.

Enfin l'étage supérieur contient : *Galania sackowi*, *Amn. galloides*, *Sphenophyllum emarginatum*, *Alethopteris*, *Pecopteris abbreviata*, *Neuropteris cordata*, *Sigillaria sculata*, etc.

M. Geinitz (1) croit pouvoir conclure de ce premier qu'il y a concordance entre les 3 étages de la Nouvelle et les zones de végétation qu'il a distinguées lui-même en 3 magas.

Angleterre. — Le nord du Staffordshire et les parties avoisantes du Derbyshire, du Cheshire et du Lancashire sont particulièrement favorables à l'étude du millstone-grit. MM. Hull et Green ont suivi dans toute cette région, et ils en ont donné une description accompagnée de coupes nombreuses (2).

Le millstone-grit, dans son plus grand développement, se compose de 4 étages de grès, séparés par des schistes : le 1^{er} *Rough Rock*, le 2^e grès, le 3^e grès, le 4^e grès ou *Kinderhook* ; le dernier est lui-même susceptible d'être divisé en deux par une couche de schistes.

Les numéros 1 et 3 sont les plus constants. La plus grande épaisseur du millstone-grit est d'environ 800 mètres : elle s'abaisse parfois jusqu'à 100 mètres.

Au sommet de chacune des assises de grès, il y a des couches plus ou moins distinctes de houille : il semble donc que, dans l'intervalle qui s'écoulait entre le dépôt des grès et celui des schistes superposés, la surface des premiers passait pour quelque temps à l'état de terre ferme.

Écosse. — Le terrain carbonifère de l'Écosse diffère notablement par ses caractères minéralogiques de celui de l'Angleterre : le millstone-grit y est représenté par le grès de Roslyn ; des schistes, des calcaires fossilifères et quelques couches de houille y sont intercalés. Le calcaire carbonifère de l'Écosse renferme des schistes, des grès, des minerais de fer et de nombreuses couches de charbon qui sont exploitées activement.

Nous donnons ici, d'après MM. Geikie et Morris, une coupe dans laquelle le terrain carbonifère des environs d'Édimbourg est comparé avec celui qui se trouve dans le sud des Îles Britanniques.

(1) *Neues Jahrb.*, 1864; 757.

(2) *Geolog. Society*, 1864; 242.

(3) Morris. *Coal its geological and geographical position*, 3.

Numéros d'ordre.	ÉCOSSE.	SYNCHRONIQUES.	Épaisseur en mètres.
1	Étage du charbon supérieur, formé de grès, de schistes et de charbon.	Partie inférieure du terrain houiller de l'Angleterre.	Même.
2	Grès de Roslyn, qui est épais, blanc et rougeâtre.	Grès houiller (Millstone-grit).	600
3	Étage du charbon inférieur et du calcaire carbonifère supérieur; il contient des alternances de grès, de schistes et de charbon avec des lits de calcaire à crinoïdes. Le fer carbonaté (Black-band, et le Parrot-coal y sont intercalés.	Série d'Yoredale. Elle est composée, dans le Northumberland, de calcaire avec des schistes, du grès et un peu de charbon. .	500
4	Calcaire inférieur au épais, formé de bancs de calcaire à crinoïdes avec des schistes et du grès, ainsi qu'une ou deux couches de charbon.	Calcaire balafre (Scar limestone).	300
■	Grès inférieur carbonifère; il est mélangé de chaux carbonatée, et il renferme quelques schistes ainsi que beaucoup de veines minces de calcaire.	Schistes carbonifères de l'Irlande?	70

Relativement au terrain carbonifère des Îles Britanniques, nous appellerons d'ailleurs avec le professeur Phillips que les couches calcaires de la série d'Yoredale ont leur maximum d'épaisseur vers le Nord et le Nord-Ouest. De plus, les agents qui ont produit les couches du millstone-grit avaient une distribution géographique différente de ceux qui ont formé les grès et les schistes de la série d'Yoredale (1).

Enfin, comme le remarque M. Hull, en Angleterre, le terrain carbonifère va successivement en diminuant dans la direction Sud-Ouest. Ainsi, dans le comté de Lancastre, son épaisseur s'élève à 1000 mètres, tandis qu'elle se réduit à 850 mètres dans le comté de Leicester.

Phillips. *Geology of Yorkshire*, II, 124. — Hull. *Coal field of Great Britain*, 2^e édition, 250. — Sorby. *On the Millstone grit of Yorkshire*.

Thuringe. — M. Richter (1) a étudié, dans le Thuringe, les couches qui représentent la formation connue sous le nom de *kulm*. Ces couches se composent de grès alternant avec des schistes; les conglomérats y sont rares.

La faune est essentiellement marine. Elle se rapproche, par ses crustacés, de la faune dévonienne, et par ses crinoïdes, de celle du calcaire carbonifère; tandis que les plantes de ces couches se rapprochent de celles des schistes inférieurs de la période houillère.

C'est au *kulm* proprement dit, c'est-à-dire à l'époque du calcaire carbonifère, que M. Richter rapporte les schistes dont il ne s'agit d'être question.

Russie. — A la suite des discussions élevées récemment sur le fait de savoir si la houille, en Russie, est au-dessus ou au-dessous du calcaire carbonifère, M. Auerbach (2) s'est proposé de rechercher si le calcaire de Malowka, sur lequel la houille repose, est dévonien ou carbonifère. Les fossiles qu'il a recueillis militent en faveur de la seconde hypothèse : nous citerons, en effet, *Chonetes*, *Productus aculeatus*, *Spirifer glaber*, *Rhynchonella plicatula*.

En somme, sur 19 espèces décrites, 3 sont nouvelles, 12 se présentent exclusivement dans le calcaire carbonifère, 4 se rencontrent aussi bien dans ce calcaire que dans les schistes dévoniens : une seule est franchement dévonienne, c'est la *Leptæbratula Puschiana*, qui est d'ailleurs peu caractéristique.

Production des houillères anglaises.

Les statistiques de M. Robert-Hunt (3) établissent que la production houillère de la Grande-Bretagne s'est élevée, en 1861, à 86,292,215 tonnes, réparties de la manière suivante :

Angleterre et Galles.	75.064.665
Écosse.	11.100.500
Irlande.	127.050
Total.	86.292.215

Il y a une augmentation de 4,653,877 tonnes sur l'année 1860, mais la production reste inférieure de 125,726 tonnes à celle de l'année 1861, qui précéda la disette du coton.

(1) *Zeit. d. d. G. G.*, XVI, 153.

(2) *Moscow*, 1863.

(3) *Geology mag.*, I, 210.

Depuis dix années, la quantité de houille extraite dans le Royaume-Uni a augmenté de 23 millions de tonnes, et le nombre des charbonnages s'est accru de 783 : il y en a maintenant 2634 en Angleterre et Galles, 480 en Écosse, et 46 en Irlande.

TERRAIN PERMIEN.

Faune.

La faune permienne avait jusqu'ici fourni très-peu d'espèces d'eau douce. Le nombre vient d'en être augmenté par une découverte de M. G ü m b e l (1). Ce savant a trouvé sur l'Irmelsberg, près de Crock, dans le Thüringerwald, une couche de houille qui, par sa position et par sa faune, appartient sans contestation au terrain permien inférieur. A sa base est le grès rouge, recouvert par un grès à grain fin, avec schiste argileux contenant des plantes fossiles, *Walchia piniformis*, *Calamites gigas*. Au-dessus vient un lit de houille, puis un schiste noir ; enfin le toit est formé par un schiste houiller fossilifère, qui contient non-seulement des plantes, mais encore des coquilles d'eau douce, telles que *Unio Tellinarius*, *Unio Thuringensis*, *Anodonta ovalis*. Ces fossiles sont les mêmes que ceux que M. Ludwig a trouvés dans la houille permienne de Tarebach, près d'Ilmenau. Sur l'Irmelsberg, ils sont de plus accompagnés d'une *Estheria*.

A cette occasion, M. Geinitz (2) a examiné de nouveau les coquilles d'eau douce trouvées jusqu'ici dans la houille et dans le grès inférieur, et il a confirmé les résultats obtenus par M. G ü m b e l.

Angleterre. — Le deuxième volume de la *Revue* a fait connaître les arguments que Sir Roderick Murchison opposait, en 1861, à l'adoption du mot *Dyas*, proposé par MM. J. Marcou et Geinitz pour désigner la formation permienne.

Depuis cette époque, le savant directeur du *Geological Survey* a travaillé, avec M. Harkness, une étude détaillée du terrain permien Nord-Ouest de l'Angleterre (3). Il a été conduit à remanier la classification de ce terrain, et à la mettre d'accord avec la division en trois étages qu'il a adoptée pour la Russie et l'Allemagne. Jus-

1) *Neues Jahrb.*, 1864; 646.

2) *Neues Jahrb.*, 1864; 651.

3) *Geolog. Society*, 1864; 146.

qu'ici les roches du comté de Durham avaient été regardées comme le type de la formation permienne d'Angleterre; mais c'est dans le Cumberland, le Westmoreland et le Lancashire que M. Murchison trouve la série complète des couches. Il divise en trois étages : le permien inférieur, représenté par le grès de *Penrith*, équivalent du Rothliegendes et du Lower red sandstone; permien moyen, ou *couches de Hilton-beck*, correspondant au Zechstein des Allemands; enfin le permien supérieur, ou grès de *Saint-Bees et de Corby*, représentant le bunter Schiefer des Allemands.

Le grès de Penrith est bien développé dans la vallée de l'Eske où sa puissance atteint 700 mètres. Il ne contient pas de fossiles; on y a seulement trouvé quelques traces de poissons. A la base du grès est un conglomérat bréchiforme composé de fragments de roches carbonifères; puis vient un grès rouge quartzeux avec rochers durs; enfin une brèche dolomitique couronne le permien inférieur. C'est à cette période que M. Murchison rapporte la formation de l'hématite, qui s'est déposée dans des cavités vides du calcaire carbonifère.

Les couches de Hilton-beck se composent de schistes et de calcaires impurs, plus ou moins dolomitiques, surmontés de grès et d'argiles rouges: dans les schistes on a trouvé des *Sphenopores*, des *Ullmannia*, etc., c'est-à-dire des plantes semblables à celles des schistes cuivreux d'Allemagne. Les argiles renferment souvent du gypse. On a donc dans les couches de Hilton-beck l'équivalent du magnesian limestone et du zechstein.

Les grès de Saint-Bees et de Corby étaient considérés autrefois comme la base du trias. MM. Murchison et Harkness les en détachent pour les faire rentrer dans le terrain permien, avec lequel ils sont en concordance de stratification parfaite: ils gisent sous les mêmes angles, et nulle part on n'aperçoit, sur la surface de contact, les inégalités qui devraient exister si l'une des assises appartenait à la période paléozoïque et l'autre à l'époque secondaire.

La présence de la magnésie est un fait caractéristique de la flore permienne: dans les grès de Penrith, le ciment de grès renferme du silicate de magnésie, et les brèches supérieures en contiennent 31 p. 100 de carbonate magnésien. Le permien supérieur en renferme très-peu. M. Murchison en conclut que la dolomitisation a dû se faire de haut en bas pendant le permien moyen. Il fait aussi ressortir l'association de la dolomie avec les grès.

La flore permienne est très-différente de celle du terrain

nifère; on ne trouve plus ni *Sigillaria*, ni *Lepidodendron*: et on voit apparaître les *Ulmannia*. Ces caractères semblent indiquer un climat moins chaud que le précédent.

Enfin M. Murchison remarque que l'activité qui s'est manifestée, pendant la période permienne, en Allemagne, par l'apparition de nombreuses roches éruptives, en Russie, par celle des sources thermales et des minerais de cuivre, a aussi laissé des traces en Angleterre dans la formation des hématites.

Les travaux de mines exécutés dans le bassin houiller de Durham ont permis à MM. Daglish et Forster (1) d'étudier le contact du calcaire magnésien avec le terrain carbonifère; conformément à l'opinion de la plupart des géologues, ils considèrent le grès jaunâtre, situé à la base du calcaire magnésien, comme reposant en discordance sur le terrain houiller; quant aux lits rougeâtres qu'on rencontre dans certaines localités, ils feraient partie de la formation carbonifère, dont ils contiennent les fossiles, et leur couleur rouge serait due simplement à l'altération du fer.

A Fulwell-Hill, près de Sunderland, dans le Durham, on exploite comme pierre à chaux le calcaire magnésien de la partie supérieure du terrain permien. Dans les assises inférieures de ce calcaire, on a trouvé, en 1861, des poissons et des plantes fossiles, dont M. Kirby (2) a récemment donné la description. Les poissons appartiennent aux genres *Acrolepis* et *Palæoniscus*, et les plantes aux genres *Ulmannia* et *Calamites*: ces fossiles présentent d'ailleurs une grande ressemblance avec ceux des schistes marneux de la base du terrain permien.

Bassin de Saarbrück. — Les couches du toit de la formation houillère de Saarbrück avaient été rapportées longtemps à la partie supérieure du terrain houiller; cependant, M. Beyrich, se fondant sur leurs caractères paléontologiques, les avait assimilées au grès rouge inférieur. M. Weiss (3) arrive à la même conclusion par l'examen des poissons fossiles. Il étudie avec de grands détails trois espèces, qu'il assimile au *Palæoniscus vrtislaviensis*, au *Enacanthus Deubeni*, et à l'*Acanthodes gracilis*, caractéristiques du grès rouge inférieur de la Bohême et de la Silésie. A cette occasion, il se demande s'il ne conviendrait pas de réunir le grès rouge

(1) *British Association*. 1863; 726.

(2) *Geolog. Society*, XX, 346.

(3) *Zeits. d. deut. Geol. Ges.*, XVI, 272.

et le zechstein au terrain carbonifère, avec lequel ils ont, d'ailleurs, tant de caractères paléontologiques communs.

M. Weiss reconnaît que la limite entre le véritable terrain houiller de Saarbrück et les couches permienes du toit est difficile à tracer; cependant M. Bantsch en a facilité la détermination par la découverte d'une coquille à laquelle M. Geinitz donne le nom de *Leaia Bantschlana*.

Ce qu'il y a d'intéressant, c'est que les trois espèces jusqu'ici connues du genre *Leaia* ont été rencontrées dans le terrain houiller; or celle de Saarbrück est contenue dans les mêmes couches que les poissons du grès rouge ou dyas inférieur.

TERRAIN TRIASIQUE.

Faune. — Reptiles du grès bigarré.

Les fossiles vertébrés sont généralement rares dans le grès bigarré. M. Müller (2) a cependant été assez heureux pour en trouver dans une carrière ouverte près de Bâle, à la partie supérieure du grès bigarré, des empreintes fort bien conservées d'écailles de saurien appartenant à la famille des mastodonsauriens ou des labyrinthodontes; de plus, il a trouvé l'empreinte du squelette complet d'un saurien paraissant appartenir aux labyrinthodontes. Ce squelette n'a, depuis l'extrémité de la tête jusqu'à celle de la colonne vertébrale, qu'une longueur de 0^m,40, et doit être celui d'un animal très-jeune.

Flore de la Lettenkohle.

M. le docteur Rummel (3) a étudié le trias de la Basse-Franconie, en dirigeant surtout son attention sur le groupe de la Lettenkohle, où il a rencontré les fossiles suivants :

Calamites arenaceus, Brong. ; *C. Jaegeri*, Sternberg; *Equisetum columnaris*, Stern. ; *E. areolatus*, Stern. ; *Odontopteris Bergii*, Pterophyllum Jaegeri.

(1) *Neues Jahrb.*, 1864; 657.

(2) *Neues Jahrb.*, 1864; 323.

(3) *Neues Jahrb.*, 1863; 736.

Classification générale du Trias.

M. P. von Alberti (1) a présenté une classification très complète des couches du trias, dont on lui doit depuis longtemps la connaissance précise. Dans ce travail, il met en parallèle le trias de la Souabe et des Alpes; nous en extrayons le tableau suivant:

(1) Stuttgart, 1864.

SOUABE ET AUTRES CONTRÉES.	ALPES.
<p>C. — Keuper.</p> <p>cc. Keuper supérieur.</p> <p>p. Couches de Tübingen.. . . .</p> <p>bb. Keuper moyen.</p> <p>o. Grès à gros grain.. . . .</p> <p>n. Couches de Gansingen.</p> <p>m. Grès à grain fin.. . . .</p> <p>l. Gypse du Keuper.</p> <p>k. Couches de Cannstatt.</p> <p>aa. Keuper inférieur ou groupe de la Lettenkohle.</p> <p>i. Dolomie supérieure.</p> <p>h. Lettenkohle et grès.</p> <p>g. Gypse et sel gemme.. . . .</p> <p>f. Dolomie inférieure.</p> <p>B. — Muschelkalk.</p> <p>e. Calcaire de Friedrichshall. . . .</p> <p>d. Groupe de l'Anhydrite.</p> <p>c. Wellenkalk.</p> <p>A. — Grès bigarré.</p> <p>b. Grès bigarré supérieur.</p> <p>a. Grès des Vosges.. . . .</p>	
	<p>Dachstein supérieur.</p> <p>Couches de Kössen.</p> <p>Dachstein inférieur.</p> <p>Couches de Bleiberg.</p> <p>? Couches de Raibl.</p> <p>Couches d'Esino.</p> <p>Calcaire de l'Arlberg.</p> <p>— de Hallstadt.</p> <p>Couches de Saint-Cassian.</p> <p>— de Wengen.</p> <p>— de Partnach.</p> <p>Dolomie de Mendola.</p> <p>?</p> <p>Calcaire de Virgloria.</p> <p>— de Guttenstein.</p> <p>— de Recoaro.</p> <p>Gypse du Muschelkalk de Lombardie.</p> <p>Couches de Campil.</p> <p>— de Seiss.</p> <p>Grès de Gröden.</p>

L'auteur distingue dans le trias quatre lits principaux de coprolites : 1° au-dessous du grès de la Lettenkoble ; 2° entre l'horizon de Beaumont et le gypse du keuper ; 3° dans le grès supérieur du keuper moyen ; 4° dans les couches de Kössen, immédiatement au-dessous du lias.

Dans chacun de ces dépôts (cloaques), on trouve des squelettes, des dents ainsi que des écailles de poissons et de reptiles, qui sont mélangés et cimentés avec les coprolites.

Angleterre. — M. John Marley (1) indique une couche de sel gemme de 30 mètres d'épaisseur, qui a été traversée par un sondage fait dans la formation du trias ou du nouveau grès rouge supérieur de Middlesborough. Cette couche a été rencontrée à la profondeur de 400 mètres.

Grand-duché de Bade. — Le muschelkalk et le grès bigarré sont bien développés dans les environs de Carlsruhe et M. Sandberger a publié récemment une carte géologique, accompagnée d'une description de ce pays dont voici les traits principaux (2).

La formation de Carlsruhe comprend six étages :

6. Muschelkalk.
5. Dolomie du groupe de l'anhydrite.
4. Wellenkalk supérieur.
3. *Id.* inférieur.
2. Wellendolomit.
1. Grès bigarré.

Le muschelkalk supérieur est très-facile à étudier à Jöhlingen, où l'on trouve en abondance *Gervillia socialis*, *Ceratites nodosus*, *Myophora Goldfussii*.

Le muschelkalk inférieur est caractérisé par les encrines et la *Lima striata*.

Le wellenkalk est pauvre en fossiles ; les plus caractéristiques pour l'étage supérieur sont : *Myophora orbicularis* et *M. elegans*.

La dolomie (Wellendolomit) contient : *Myophora lævigata*, var. *cardioides*, *Lingula tenuissima*, *Ceratites Buchii*, avec une algue, le *Sphaerococcites distans*. M. Sandberger la considère comme une formation de rivage de la zone des algues. Les coquilles y sont

(1) *Report of the British Association*, 1883 ; 82.

(2) *Neues Jahrbuch*, 1884 ; 732.

transformées en dolomie, ce qui semble bien indiquer que la roche ne s'est pas primitivement déposée dans cet état.

Le grès bigarré est caractérisé à sa base par le développement de la silice, qui tapisse, sous forme de calcédoine (carnéol), toutes les cavités des grès à bâtir entre Rothenfels et Wohlfahrtswies.

Les bancs supérieurs contiennent des plantes fossiles bien conservées qui sont fournies par les genres *Anomopteris*, *Calamites* et *Caulopteris*.

Erfurt. — On a creusé récemment aux salines du Johannisdal près d'Erfurt, deux puits qui ont fourni des indications précises sur la succession des couches du trias supérieur.

Dans une note sur les résultats de ce travail, M. Schmidt distingue les assises suivantes, dont la première se rencontre à 13^m.50 au-dessous du sol.

A. Keuper supérieur : puissance, 144^m.18, composé de marnes avec gypse.

B. Groupe de la Lottenkoble : 59^m.43, comprenant :

- 1° 41^m.45 de grès à cycadées, avec restes de poissons, et *psidionoceras* ;
- 2° 17^m.98 d'argiles schisteuses, alternant avec des grès et des calcaires à strontiane sulfatée.

C. Muschelkalk supérieur : 52^m.16, comprenant :

- 1° 11^m.90 de marnes et de calcaires à écailles de poissons.
- 2° 0^m.30 d'un conglomérat formé de coquilles de *Terebratulæ* ;
- 3° 19^m.70 de marnes et de calcaires à *Pecten discites*.
- 4° 15^m.23 de couches à *Gervillia socialis*.
- 5° 5^m.13 de calcaires à *Lima striata*.

D. Muschelkalk moyen : près de 100 mètres :

- 1° 15^m.10 de calcaires schisteux.
- 2° 50^m.20 de calcaires dolomitiques avec gypse et anhydrite.
- 3° 32^m.00 de sel gemme et d'anhydrite.

Le *ceratites nodosus* apparaît surtout dans les couches à *pecten discites* et *gervillia socialis*.

Haute-Silésie. — Jusqu'à ces dernières années on avait cru que l'étage des marnes irisées manquait dans la Haute-Silésie. M. Petz Roemer (2) a reconnu depuis qu'il existe dans cette contrée une assez vaste étendue, et qu'on doit lui restituer un ensemble d

(1) *Zeit. d. d. G. Gesellschaft*, XVI, 146.

(2) *Zeit. d. d. G. Gesellschaft*, XV, 494.

couches considérées autrefois comme jurassiques. Il distingue les assises suivantes, recouvertes par des marnes à ammonites Parkinsoni et à belemnites gigantesques :

Keuper supérieur.— Argiles brunes avec conches de sphérosidélite en rognons, contenant des cycadées, des calamites, des fougères, notamment *Pecopteris Ottonis*, Göpp. On y trouve aussi l'*Estheria* (*Possidonia*) *minuta*.

Keuper moyen.— Argiles brunes et vertes avec bancs calcaires à silex corné (entre Woischauk et Lublinitz).

Keuper inférieur.— Argiles avec ou sans intercalations de calcaires marneux, à Oppeln, Brzesek.

Au-dessous vient le groupe de la lettenkohle, représenté par des argiles grises, des grès micacés et des dolomies, et contenant : *Hybodus plicatilis*, *Myophoria vulgaris*, *M. intermedia*.

Limite du Trias et du Lias.

Depuis plusieurs années un grand nombre de géologues s'appliquent à définir aussi exactement que possible la limite qui sépare le lias du trias, et il règne encore à cet égard des opinions très-divergentes. Le deuxième volume de la *Revue* mentionnait plusieurs travaux intéressants auxquels cette question avait donné lieu ; le nombre de ces travaux s'est encore accru, et nous signalerons ici les plus importants.

Côte-d'Or. — M. Jules Martin (1) a étudié le *bone-bed* et la zone à *Avicula contorta*, dans la Côte-d'Or. Déjà, lors de la construction du souterrain de Blaisy, M. Guillebot de Nerville (2) avait signalé l'existence du *bone-bed* en Bourgogne ; M. J. Martin l'a retrouvé et suivi dans diverses localités, notamment à Savigny-sous-Malais, à Mémont, Remilly-la-Montagne, Malain.

Les couches de Mémont ont fourni des restes de vertébrés formant treize espèces, sur lesquelles trois appartiennent à la faune triasique, savoir :

(1) *Académie des Sciences et Belles-Lettres de Dijon*, 1883.

(2) *Revue*, t. II.

Saurichthys acuminatus, Ag. *Sphærodon minimus*, Ag. *Cyrtolophus tenuistriatus*, ag.

Sept sont spéciales à la zone :

Acerodus minimus, Ag. *Sargodon tomicus*, Plin., *Hybodus minor*, H. *sublaevis*, H. *cuspidatus*, Ag., H. *clavatus*, Quenstedt, *la pedus*.

On ne saurait, dit M. Martin, tirer aucun argument de la présence d'espèces triasiques dans la zone à avicules, car les véritables fossiles de cette zone, bien loin de constituer un lit isolé, se trouvent associés aux fossiles du lias inférieur : ainsi on a trouvé *ammonites angulatus* avec une incisive de *sargodon* fixée dans l'intérieur de la dernière loge.

A Dracy, il y a concordance parfaite entre les arkoses à avicula et les lumachelles de l'infra-lias; le bone-bed paraît manquer.

Enfin les décombres provenant des puits du souterrain de Bar, notamment du puits 14, présentent la couche à ossements toute sa richesse, avec une quantité de coprolites étonnamment bien conservés, et justifiant le nom de *cloaque* que M. Quenstedt a donné à ce dépôt.

M. J. Martin cherche ensuite à réfuter les objections qui ont été faites à son premier mémoire par MM. Terquem, Winkler et Oppel, partisans de l'intercalation de la zone à avicules dans le trias supérieur. Et, après avoir donné un tableau très-complet de tous les fossiles reconnus dans cette zone, indiquant le mode de propagation dans les assises supérieures et inférieures, maintient son opinion en l'appuyant sur les raisons suivantes :

Sur 90 espèces recueillies dans la zone à avicules de la Chaux d'Or, 22 passent dans l'infra-lias; 52 sont spéciales à la zone, et 6 seulement sont triasiques; et comme de ces 6, 4 passent dans les calcaires à *Ammon. angulatus*, il n'y a, en réalité, que 2 espèces appartenant vraiment au trias.

De plus, il y a une concordance invariable entre les arkoses et les lumachelles à *Ammon. planorbis*, et très-fréquemment les zones à avicules reposent directement sur le granite, tandis qu'on ne marque des discordances d'isolement à peu près constantes entre les dépôts de la zone et le keuper proprement dit.

En résumé, pour M. J. Martin, la zone à avicules de la Chaux d'Or fait partie de ce qu'il appelle l'infra-lias, dans lequel il range les calcaires à *ammonites angulatus*.

Meurthe. — Tel n'est point l'avis de M. Levallois (1), qui s'est occupé spécialement des couches de jonction (*Grenzschiefer*) entre le lias et le trias. Voici d'ailleurs comment il a lui-même résumé ses conclusions, que nous croyons devoir reproduire intégralement.

« 1. Les couches de jonction du trias et du lias se présentent avec une composition uniforme et sans discontinuité depuis l'Ardenne jusqu'au Morvan.

« 2. Elles sont constituées par un grès qui a pour type le grès de Vic (Meurthe), décrit par M. Koltz en 1823.

« 3. C'est le grès dit *infra-liasique* par les auteurs de la carte géologique de France (grès inférieur du lias de M. E. de Beaumont).

« 4. Ce grès est caractérisé paléontologiquement par les mollesques de la zone à *avicula contorta* de M. Oppel.

« 5. Le *bone-bed* est partie intégrante du grès *infra-liasique* (zone à *A. contorta*).

« 6. Dans les départements de la Meurthe et de la Moselle, et dans le pays du Luxembourg, une couche d'argile rouge, non fossilifère, de 5 mètres d'épaisseur, sépare constamment le grès *infra-liasique* de la zone du grès d'Hettange.

« 7. Le grès d'Hettange n'est donc pas le représentant du grès dit *infra-liasique*.

« 8. Le grès *infra-liasique* se lie au contraire intimement par des passages et des alternances, avec les assises supérieures du keuper.

« 9. La faune de la zone hettangienne est tout à fait liasique.

« 10. La faune du grès dit *infra-liasique* renferme quelques espèces liasiques, mais son aspect général est celui des fossiles du trias (étage conchylien de A. d'Orbigny).

« 11. L'absence (ou à peu près) de fossiles dans le keuper de la partie nord-est de la France que nous considérons (étage saliférien de A. d'Orbigny) ne permet pas de comparaison d'où l'on puisse déduire si la faune des couches de jonction présente plus ou moins d'espèces communes avec le lias qu'avec le keuper.

« 12. Il y a moins d'analogie dans les faunes entre les couches de jonction et la zone hettangienne, qu'entre celle-ci et la zone de la gryphée arquée qui la recouvre.

« 13. La faune des couches de jonction porte un cachet tout particulier, en ce qu'elle forme le trait-d'union entre les faunes si dis-

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 324.

parates du muschelkalk et du lias, et cela lui donne une certaine autonomie qui permettrait de considérer les couches de jonction comme un terrain neutre entre le lias et le trias.

« 14. Dans tous les cas, les couches de jonction ne sauraient être confondues avec ces terrains, et il y aura toujours lieu de faire dans l'échelle géologique, comme l'ont fait les auteurs de la carte géologique de la France, une division spéciale, quelle qu'en soit l'importance, du grès dit infra-liasique.

« 15. Il paraît y avoir plus de raisons, dans l'état actuel des observations, pour considérer le grès infra-liasique comme triasique que comme liasique. Il prendrait, dans cet ordre d'idées, le nom de grès supra-keupérien.

« 16. Le grès de la zone à *avicula contorta*, dans le département de la Côte-d'Or, ne diffère en rien du grès infra-liasique, type de la Lorraine. Il ne justifie le nom d'arkose ni au point de vue minéralogique, ni au point de vue géognostique.

« 17. Dans les coupes où l'on peut observer à la fois le grès de la zone à *A. contorta* et l'arkose, celle-ci repose sur le granite; existe entre les deux assises une épaisseur plus ou moins grande de marnes irisées.

« 18. Les roches arénacées, grès, psammites ou poudingues, et fossifères, qui reposent sur le granite de Pierre-Écrite (Vosges) sans être recouvertes, correspondent au grès de la zone à *A. contorta* et non à l'arkose. »

Provence. — M. Coquand (1) a signalé dans les départements du Var et des Bouches-du-Rhône l'existence des couches à *avicula contorta*, qu'on avait jusqu'ici confondues avec le trias supérieur. Elles se présentent sous la forme de calcaires à cassure conchoidale.

Des observations récentes de M. Ebray (2) ont pleinement confirmé cette découverte.

Alpes. — M. Stoppani (3) s'est également occupé de l'étude des couches infra-liasiques, spécialement de celles qui se trouvent sur les deux versants des Alpes : ses observations se résument en quelques propositions qui ne sont pas complètement d'accord, comme on le verra, avec celles formulées par M. Levallois.

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 426.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 203.

(3) *Atti della Soc. ital. di scienze nat.*, V, 124.

1° La série liasique est concordante sur l'un et l'autre versant des Alpes;

2° L'Infralias notamment présente cette concordance, aussi bien par son intercalation entre des calcaires franchement liasiques et les dolomies supérieures aux marnes irisées, que par ses caractères lithographiques et ses restes fossiles;

3° Des deux côtés des Alpes, l'infralias se divise en un étage supérieur à *Amm. angulatus* et à *Amm. planorbis* (calcaire du Dachstein), et un étage inférieur à *Terebratula gregaria* et *Bactryllium*. Cet étage inférieur représente les couches à *avicula contorta* ou couches de Kössen;

4° Ces dernières couches se rattachent vers le nord au lias, tandis qu'elles sont nettement séparées du trias; un de leurs caractères est l'apparition des premières bélemnites et des échinides réguliers.

Alpes Vaudoises.— M. Renevier (1) est aussi arrivé à une conclusion différente de celle de M. Levallois par l'étude des Alpes vaudoises, notamment aux environs de Villeneuve.

Entre le lias et le trias, il distingue deux zones intimement liées l'une à l'autre, et pourtant distinctes par leur faune.

La zone supérieure, qui affleure à Taulan, Luan, Douvaz, et dans la partie haute du ravin de Pissot, correspondrait au lias inférieur de Valognes et d'Hettange, et aux lits à ammonites *angulatus* et *planorbis* du Wurtemberg. Elle est caractérisée par l'*ostrea regularis*, et sur 38 espèces fossiles qui y sont contenues, 31 ont déjà été rencontrées dans l'infralias de diverses localités, 5 se trouvent aussi dans le calcaire à gryphées, 5 sont nouvelles ou incertaines, et 2 existent dans la zone à *avicula contorta*. Ce sont le *pytilus semicircularis* et le *placunopsis schafhäutli*. Des 31 espèces infraliasiques, 19 existent dans le grès d'Hettange et dans la Côte-d'Or.

La zone inférieure, qu'on trouve à Taulan, Luan, les Chainées, dans la partie inférieure du ravin de Pissot, est la véritable zone à *avicula contorta* des Alpes, parallèle au bone-bed des Anglais et du Wurtemberg, ou étage rhétique ou rhétien de M. Gumbel. Sur 26 espèces, 26 se rencontrent dans la zone à *avicula contorta*, 20 sont nouvelles, 3 incertaines.

Le *placunopsis Schafhäutli* est la seule espèce commune aux deux

(1) *Bulletin de la Société vaudoise des sciences naturelles*, 1864; 20.

zones. On est donc en droit de les considérer comme indiquées. M. Renévier, pour éviter les difficultés attachées à l'emploi du mot *infralias*, propose de nommer la zone supérieure *étage rattangien*, et la zone inférieure *étage rhétien*.

Quant à l'âge géologique de l'étage rhétien, M. Renévier remarque que sur 21 genres fossiles trouvés dans les Alpes vaudoises, 1 seulement sont communs au rhétien et au trias, tandis que 13 passent dans les formations supérieures; c'est pourquoi, et moins en ce qui concerne la région vaudoise, il est porté à considérer l'étage rhétien comme appartenant au lias plutôt qu'au trias.

Allemagne.— Cette opinion n'est pas d'ailleurs adoptée par Dittmar (1) qui, après avoir présenté le côté historique de la question, fait ressortir la variété extrême que présente l'*Avicula contorta*, partout où elle se rencontre, au double point de vue de la composition minéralogique et des fossiles.

Par exemple, la *Gervillia inflata* ne se trouve que dans le bone-bed proprement dit n'existe qu'en Angleterre et au nord de l'Allemagne. Dans les parties septentrionales et occidentales de l'Allemagne, la zone à *avicules* est remplie de *prælor* et de *cadées*, tandis qu'en on trouve à peine dans le Werra et le Luxembourg.

Les seuls fossiles qui se rencontrent partout, et qui peuvent être considérés comme caractéristiques de la zone, sont :

Avicula contorta.
Gervillia præcursor.
Cardium Rhaeticum.
Mytilus minutus.
Anatina præcursor.
Anatina Suessi.

Schizodus præcursor.
Pecten acutianthus.
Lima præcursor.
Leda percaudata.
Sargodon Tomicus.
Acrodon minimus.

L'auteur traite ensuite la question de la véritable place géologique de la zone à *avicules*, et bien qu'aucune des raisons avancées jusqu'ici ne lui paraisse décisive, il conclut dans un sens opposé à M. Renévier; il se fonde principalement sur ce qu'il a observé une discordance stratigraphique marquée entre la zone et le lias, et aussi sur l'opinion de MM. Alberti et Quenstedt, qui ont placé le bone-bed à la partie supérieure du lias.

(1) *Die Contorta-Zone*. Munich, 1864.

Angleterre. — M. Boyd Dawkins (1) a relevé des coupes géologiques très-détaillées dans le comté de Somerset, pour y établir la véritable position du lias blanc et des couches à *avicula contorta*. Il a reconnu que ce lias blanc est très-distinct de la zone à *Amn.*, planorbis qui le recouvre, et que, si quelquefois on l'a confondu avec elle, c'était faute d'avoir reconnu des failles, dont il indique la position; le lias blanc se sépare également bien de la zone à *avicula contorta*, sur laquelle il repose sans intercalation d'aucune zone de sauriens. En outre, le bone-bed sépare la zone à *avicules* d'un ensemble de couches, grès marneux ou marnes grises, considérées jusqu'ici comme appartenant aux marnes irisées, mais où l'on trouve des fossiles d'âge rhétique. De sorte que M. Dawkins les range dans la série rhétique, qu'il fait descendre jusqu'aux marnes rouges.

Irlande. — M. Tate (2) a décrit la zone à *avicula contorta* et le lias inférieur des environs de Belfast. Il y a trouvé quelques fossiles nouveaux, que M. Etheridge a étudiés et nommés :

Ceromya gibbosa, *Astarte dentilabrum*; *Pollicipes liassicus*.

TERRAIN JURASSIQUE.

Lias.

France. — M. Ebray (3) a établi que les calcaires dolomitiques qui existent à la base du lias, autour du plateau central du Morvan sont partout supérieurs aux grès de l'infra-lias.

Bavière. — Il existe à Jägersburg, près de Forchheim, en Bavière, une carrière importante où l'on exploite un grès en bancs massifs, situé à la limite entre le trias et le lias, et ordinairement rapporté au bone-bed. A la base est un grès à gros grain d'un blanc jaunâtre; puis vient un grès à grain fin, en partie micacé, avec intercalations argileuses riches en plantes fossiles. M. Popp (4) décrit un certain nombre de végétaux, et bien qu'il n'y ait pas eu de conifères, il n'hésite pas à assimiler ce grès au grès de *Styria* de la Haute-Franconie, ainsi nommé par M. Braun du

1) *Geological Society*, 1864; 394.

2) *Geological Society* 1864; 103.

3) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 167.

4) *Neues Jahrb.*, 1863; 399.

nom d'une plante confère, qui en est le fossile caractéristique. Or, d'après M. Braun, ce grès serait une formation d'eau douce correspondant au lias, depuis sa partie inférieure jusqu'aux couches à possidonies.

Classification générale du lias allemand.

M. Schlönbach (1) a étudié la formation liasique de l'Allemagne du nord-ouest, notamment aux environs de Harzburg, Wolfesfeld, Markoldendorf, Willershausen, Rottorf-sur-Kley, où le lias moyen contient des gisements très-constants de minéral de l'éolithe. Il a reconnu que ces minerais se rencontrent dans une couche à ammonites Jamesoni, équivalente de l'assise à *terebratulites numismalis*.

En outre, il a dressé, d'après les divers observateurs, un tableau synoptique des étages du lias, que nous reproduisons ici.

(1) *Zeitschrift d. d. Geolog. Gesellschaft*, XV, 465.

TABLEAU SYNOPTIQUE DES ÉTAGES DU LIAS.

1843 et 1856. QUENSTEDT. (Pour la Souabe.)	1856. OPPEL. (Allemagne du Sud, France, Angleterre.)	1843. SCHLONBACH. (Allemagne du Nord.)	
Jura brun inférieur.	Dogger. Oolithe inférieure.	Jura brun inférieur.	Jura brun T. Am.
ζ. Marnes à <i>A. Jurensis</i> .	Zone de l' <i>A. Jurensis</i> .	Zone des <i>A. Jurensis</i> et <i>Radiatus</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
ε. Schistes à <i>Possidonias</i> .	Zone de la <i>Possidonomya Bronni</i> .	Zone de la <i>Possidonomya Bronni</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
δ. Calcaire à <i>A. costatus</i> .	Zone de l' <i>A. spinatus</i> .	Zone de l' <i>A. spinatus</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
Argile à <i>A. amathous</i> .	Zone supérieure de l' <i>A. margaritatus</i> .	Zone supérieure de l' <i>A. margaritatus</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
Calcaires à <i>A. Davoei</i> .	Zone inférieure de l' <i>A. margaritatus</i> .	Zone inférieure de l' <i>A. margaritatus</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
	Zone de l' <i>A. Davoei</i> .	Zone supérieure de l' <i>A. Ambriatus</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
γ. Marnes à <i>Tereb. numismalis</i> . Banc à <i>Spiriferes</i> .	Zone de l' <i>Amm. ibex</i> .	Zone inférieure de l' <i>A. Ambriatus</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
	Zone de l' <i>A. Jamisoni</i> . (?) Banc à <i>A. armatus</i> .	Zone de l' <i>A. Jamisoni</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
β. Argiles à <i>A. Turneri</i> et Calcaire β.	Zone de l' <i>A. varicostatus</i> .	Zone de l' <i>Amm. planicosta</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
	Zone de l' <i>A. oxynotus</i> .		Horizon Jura brun T. Am.
	Zone de l' <i>A. obtusus</i> .		Horizon Jura brun T. Am.
Plaque à <i>Pentacrinus</i> et schistes oléifères.	Zone du <i>Pentacrinus tuberculatus</i> .	Parait manquer.	Horizon Jura brun T. Am.
Calcaire à <i>Arletes</i> .	Sous-zone de l' <i>Amm. geometricus</i> .	Zone de l' <i>A. geometricus</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
α. Grès à <i>A. angulatus</i> .	Zone de l' <i>Amm. Bucklandi</i> .	Zone de l' <i>Amm. Bucklandi</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
Banc à <i>Psilonotus</i> .	Zone de l' <i>Amm. angulatus</i> .	Zone de l' <i>Amm. angulatus</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
one-bed.	Zone de l' <i>A. planorbis</i> .	Zone de l' <i>A. Johnstoni</i> .	Horizon Jura brun T. Am.
	Zone de l' <i>Avicula contorta</i> .	Zone de l' <i>Avicula contorta</i> .	Horizon Jura brun T. Am.

Stages du Lias.

1857. ROEMER. (bassin du Weser.)	1858. BORNEMANN. (Göttingue.)	1862 et 1874. STROMBECK. (Brunswick.)	1886. F. A. ROEMER. (Allemagne du Nord.)
brun.	Manque.	Jura brun.	Marnes supérieures du Lias.
noir.	Manque.	Couches à <i>A. radians</i> .	Couches à <i>A. salensis</i> et <i>hircinus</i> .
schistes à <i>Possidonius</i> et <i>Ammonites</i> .	(k) Schistes à <i>Possidonius</i> .	Schistes à <i>Possidonius</i> .	Schistes bitumineux.
o.	Manque.	Argiles à <i>Ammon. amaltheus</i> .	Marnes supérieures du Lias, couches à <i>Am. costatus</i> et à <i>Turbo cyclostoma</i> .
schistes de l' <i>A. Jansoni</i> .	(i) Couches à <i>A. amaltheus</i> . (h) Couches à <i>Bolonnites</i> .	(h) Marnes argileuses avec oolithes de fer.	Couches à <i>Bolonnites</i> .
.	(g) Schistes argileux gris.	(g) Argiles sans fossiles.	Non distingué.
à <i>Gryphaea arcuata</i> .	(f) Glaises ferrugineuses avec <i>Ammon. angulatus</i> , <i>Gryphaea arcuata</i> , etc.	(f) Argile ferrugineuse et minéral de fer. (e) Argile sans fossiles.	Calcaire à <i>Gryphaea arcuata</i> .
à <i>Ammon. angulatus</i> .	Inconnu.	(d) Lias à <i>Cardinia</i> . (c) Argile sans fossiles.	Inconnu.
.	(c), (d), (e).	Grès keupérien supérieur.	Inconnu.

Hanovre. — De son côté, M. de Seebach (1), auquel on doit une étude approfondie des formations jurassiques du Hanovre, dit ainsi qu'il suit le lias du nord-ouest de l'Allemagne.

LIAS SUPÉRIEUR.

1. Couches à *Ammonites Jurensis*; contenant: *Belemnites irregularis*, *Bel. dispensus*, *A. Jurensis*, *A. striatulus*, *A. Germanii*, *A. insignis*.
2. C. à *Possidonies*; *Bel. irregularis*, *A. Scythensis*, *A. borealis*, *A. communis*, *Inoceramus amygdaloïdes*, *Avicula substriata*, *Discina papyracea*.

LIAS MOYEN.

3. C. à *A. Amaltheus*; *A. margaritatus*, *A. spinatus*, *B. compressa*, *Gast. ventricosa*, *Inoceramus substriatus*, *Pecten squivalvis*.
4. C. à *A. Capricornus*; *A. capricornus*, *A. curvicornus*, *Avicula cyprina*.
5. C. à *A. brevispina*; *A. brevispina*, *A. binotatus*, *A. Jamesoni*, *Discinella furcillata*, *Terebratula numismalis*, *Spirifer rostratus*.

LIAS INFÉRIEUR.

6. C. à *A. planicosta*; *A. planicosta*, *A. ziphinus*.
7. C. à *A. Aries*; *A. Bucklandi*, *Lima gigantea*, *A. conybeari*, *Gryphus*.
8. C. à *A. angulatus*; *A. angulatus*, *Unicardium cardioïdes*.
9. C. à *Pylonotus*; *A. Johnstoni*.

Il est à remarquer que M. de Seebach sépare du lias, pour mettre dans le Dogger, la couche à *Ammonites opalinus* avec *Avicula Hammeri*, *A. radiosus*, *Trigonia navis*, *Cerithium amplexum*, *Bel. Rhenanus*.

Autriche. — Les calcaires à crinoïdes de Freiland, Imst-Gruben et Grossau, dans la basse Autriche, contiennent, d'après M. Peters (2) des fossiles du lias moyen, abondamment mélangés avec les espèces des calcaires de Hierlatz, auxquels ils se rattachent intimement. Ces derniers pourraient donc ne pas être tout à fait comme on l'avait cru jusqu'ici, l'équivalent du lias inférieur. Et les différences qu'on observe dans le lias de la région des Alpes et de celui des pays voisins pourraient être expliquées par des perturbations et des migrations de faune, sous l'influence de courants marins.

Meuille dans le lias.

Il existe à Gross-Raming, dans la haute Autriche, des schistes

(1) *Der Hannoversche Jura*. Berlin, 1864.

(2) *Académie des Sciences de Vienne*, mars 1864.

interstratifiés aux grès micacés du lias inférieur, et dans lesquels on rencontre cinq veines de houille, dont une est exploitable, et a 1 mètre de puissance. M. Sternbach (1) a trouvé dans les schistes les fossiles suivants, qui ne laissent aucun doute sur leur âge :

Camptopteris Wilsoni; *Pecopteris Whitbyensis*; *Pecten infralassicus*; *Goniomya rhombifera*; *Panopæa lassica*; *Pleuromya crinoïdes*.

Jurassique.

Faune.

M. Aug. Dollfus (2) a étudié la faune kimmérienne du cap de la Hève.

Après quelques considérations générales, dans les quelles il fait ressortir les modifications qu'éprouve la faune de cet étage, à mesure que les couches argileuses du cap de la Hève s'imprègnent de calcaire en se dirigeant vers le nord, l'auteur donne la liste de tous les fossiles de la Hève et discute les espèces. Cet ouvrage est accompagné d'un atlas.

France. — M. Dumortier (3) a signalé deux gisements de calcaire à fucoides (*chondrites scoparius*) de l'oolithe inférieure; le premier, aux environs de Thouars (Deux-Sèvres); le second, à Metz, sur la colline Saint-Quentin, au-dessus d'un grès fin, que caractérise l'*Amm. opalinus*.

M. Ebray (4) a reconnu la présence des étages bathonien et bathonien à Grussol (Ardèche). Il a également démontré que l'assise ferrugineuse, considérée généralement comme représentant l'étage allovien, appartient à la grande oolithe.

Dans un travail ultérieur (5), le même auteur a fixé la position des couches oolithiques inférieures aux environs de Saint-Nazaire (Var), où il a constaté l'existence des niveaux du calcaire à entroques et de l'oolithe ferrugineuse.

M. Eug. Deslongchamps (6), en comparant la grande oolithe de Normandie avec celles de la Sarthe et du Boulonnais, était arrivé

(1) *Institut géologique de Vienne*, 1864.

(2) Paris, 1883.

(3) *Congrès scientifique de Bordeaux*, 35^e session, t. III.

(4) Nevers, 1883.

(5) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 203.

(6) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 126.

à cette conclusion que les couches les plus profondes de cet étage (oolithe miliaire), sont très-semblables dans ces trois régions, mais que les assises supérieures offrent dans chacune d'elles un type distinct, et que le cornbrash ne s'est développé que dans le Boulonnais.

M. Triger conteste cette dernière conclusion, et maintient l'existence du cornbrash dans la Sarthe.

M. Coquand (1) a retrouvé en Provence, dans des couches généralement rapportées aux calcaires à *chama ammonia*, les trois étages corallien, kimméridien et portlandien, et il a nettement établi que la série jurassique est aussi complète dans le midi que dans le nord de la France.

Terrain à chailles.

Le terrain à chailles, ainsi nommé par Thurmman à cause des particules siliceuses qu'il contient, est une des subdivisions moins constantes de l'étage jurassique. On le rencontre cependant dans les cantons de Bâle, de Soleure, de Berne, de même que dans le jura français. M. Mérian (2), pour fixer la position de cette assise, se fonde surtout sur l'examen des échinodermes qu'elle contient; ce sont le *Cidaris Blumenbachii*, Ag. (*Cidaris floribunda* Phill.); *C. cervicalis*, Ag.; *Hemicidaris crenularis*, Ag.; et *Glyptocus hieroglyphicus*, Ag. La présence de ces espèces, et d'autres motifs encore, conduisent M. Mérian à regarder le terrain à chailles comme l'équivalent des couches à *H. crenularis* de la vallée du Rhin, dans le canton d'Aargovie.

Grand-duché de Bade. — La chaîne du Jura, après s'être brisée pour livrer passage au Rhin, se prolonge vers le nord-est dans le grand-duché de Bade mais le type des roches jurassiques y est un peu changé.

M. F. Sandberger (3) y distingue onze assises, dont voici l'énumération :

- | | | |
|--|---------------------------|-----------------------|
| 11. Calcaire corallien d'Istein, Kleinkems, etc. (Corallien de d'Orbigny.) | } Callovien
d'Orbigny. | } Gesteaux
moyens. |
| 10. Marne à <i>Ammonites cordatus</i> . | | |
| 9. Argile grise à nodules pyriteux, de Müllheim. | | |
| 8. Marne ferrugineuse à <i>Ammonites macrocephalus</i> . | | |

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 253.

(2) *Neues Jahrbuch*, 1864.

(3) *Würzburger Zeitschrift*, V.

7. Cornbrash.	Bathonien d'Orb.	} Oolithe inférieure.
6. Oolithe marneuse, avec Amm. ferrugineosa.		
5. Oolithe à gros grain, avec Nerinea Cruckneri.		
4. Oolithe à petits grains blancs, avec Ostrea acuminata et Echinobriassus Renggeri.		
3. Calcaire avec Amm. Humphriesianus.		
2. Grès et calcaire ferrugineux, à Amm. Merchisonæ.		
1. Argile à Amm. opalinus.		

Hanovre. — M. Credner (1) a publié une description des formations jurassiques supérieures du Lindner Berg, près de Hanovre. Il y a distingué les couches suivantes :

<i>Formation wealdienne.</i> Grès à serpules de Roemer.	
<i>Étage kimméridien :</i> 15 à 16 mètres.	Calcaire marneux avec argile.
	Calcaire blanc oolithique.
	Calcaire compacte gris clair avec intercalations d'argile.
	Calcaire à nérinées avec argile.
	Marne calcaire grise avec calcaire.
<i>Étage oxfordien :</i> 18 à 19 mètres.	Dolomite marneuse gris clair.
	Calcaire blanc oolithique.
	Calcaire marneux jaune dolomitique.
	Banc corallien (1 mètre).
	Calcaire marneux gris dolomitique.
	Calcaire sableux gris et marne calcaire.

L'ouvrage de M. Credner est accompagné d'une intéressante description des nérinées et des chemnitzies du nord de l'Allemagne.

Le même auteur (2) a étudié la formation kimméridienne des environs de Hanovre, et notamment les couches à ptérocères, qui reposent sur la zone à *nerinea obtusa*, et font partie de l'étage kimméridien inférieur.

Ces assises, qu'il appelle couches à *Aporrhais* (nom qui lui paraît mieux convenir à la plupart des espèces décrites comme *ptéroceras* et *rostellaria*), sont divisées par lui en deux étages : l'étage supérieur, formé de marnes à *cidaris pyrifera*, d'argiles à *chemnitzia paludinaeformis*, de calcaires à *cyprina saussurei*, et contenant des restes de tortues, de poissons et de sauriens; et l'étage inférieur, formé de calcaires blancs oolithiques, avec lits marneux

(1) Prague, 1863.

(2) *Zeits. d. deut. Geolog. Gesellschaft*, XVI, 190.

subordonnés, contenant : *Nerinea pyramidalis*, *Nerinea Cos*, *Aporrhais Oceani*, *Ap. nodifera*, *Ap. costata*, *Terebratula subell*, *Pinnigenna Saussurei*.

Il paraît assez singulier de voir figurer ici sous le nom de couches supérieures à aporrhais un ensemble d'assises qui ne contiennent pas ce genre de fossiles; néanmoins M. Credner a cru voir les réunir au groupe en question, à cause de leurs caractères pétrographiques, qui les rapprochent de l'étage kimméridien inférieur, plus que de l'étage supérieur.

Il signale aussi la grande analogie de ce groupe avec la formation kimméridienne de M. Contejean. Il y a cependant une différence singulière dans l'absence complète de l'exogyra vers Hanovre.

Le travail de M. Credner se termine par une description complète des fossiles, accompagnée d'un tableau graphique pour connaître leur mode de distribution dans les deux étages.

Alpes. — L'étude des calcaires des Alpes avait conduit à reconnaître que le lias s'y subdivise en étages correspondant très par leurs fossiles à ceux du bassin anglo-français; mais la concordance n'avait pas pu être établie jusqu'ici pour les jurassiques proprement dites.

Cependant M. Oppel (1), en étudiant les couches dites de près de Hallstadt, y a reconnu l'existence d'un niveau de donies, qu'il a retrouvé à Brentonico, dans le Tyrol méridional qui contient la *posidonomya alpina*, Gras., associée à l'*Amm. desianus* et à l'*Amm. martusii*, de sorte qu'il lui paraît possible d'assimiler cette partie du dogger supérieur aux couches d'*Amm. Parkinsoni*.

Ces résultats ont été confirmés par M. Benecke (2). Ce dernier a reconnu, en outre, que la formation calcaire connue sous le nom de *malm*, et caractérisée par la *terebratula diphyæ*, doit être rapportée non pas à l'oxfordien, comme on l'avait fait jusqu'ici, mais au kimméridien. Elle se divise en deux zones : l'inférieure à *Amm. tenuilobatus*, et la supérieure à *Amm. lithographica*, correspondant aux schistes de Solenhofen.

(1) *Zeits. d. deut. Geolog. Gesellschaft*, XV, 188.

(2) *Neues Jahrb.*, 1884; 592.

Classification du Jura supérieur en Allemagne.

Nous empruntons à l'ouvrage déjà cité (1) de M. de Seebach sa classification des formations jurassiques supérieures.

Jura supérieur.

1. Couches de Purbeck.
 1. Lits à serpules.
 2. Marnes rouges de Purbeck.
 3. Calcaires avec *Corbula inflexa*.
2. C. à *Amm. gigas*.
3. C. à *Exogyra virgula*, avec *Pholadomya acuticosta*.
4. C. à *Pterocères*. *Tereb. subella*, *Avicula modiolaris*, *Lucina substriata*, *Trigonia gibbosa*, *Pteroceras Oceani*.
5. C. à *Nerinea Visurgis*; *N. Visurgis*; *Cerithium septemplex*, *C. astartinum*, *Chemnitzia Bronnii*, *C. abbreviata*, *Astarte scutellata*.
6. *Oolithe corallienne*; *Cerithium limæforme*, *Cidaris florigemma*, *Rhynchonella pinguis*, *Pecten varians*, *Astarte lævis*, *Ast. plana*, *Lucina aliena*.
7. Lits coralliens, à *Isastræa helianthoides*.
8. Couches de Hersum, à *Gryphæa dilatata*, *A. plicatilis*, *A. cordatus*, *Bel. excentralis*, *A. perarmatus*, *Modiola bipartita*, *Lima pectiniformis*, *A. mendax*, *Tereb. Galliœni*.
9. Argile à *A. ornatus*; *A. cordatus*, *A. Lamberti*, *A. ornatus*, *A. Jason*, *Nucula pollux*, *Gryphæa dilatata*.
10. C. à *Macrocephalus*. *A. macrocephalus*, *A. Gowerianus*, *A. funatus*, *A. calvus*, *Pleuromya donacina*.

Dogger.

1. Calcaire ferrugineux de Cornbrash, avec *Avicula echinata*, *Echinobrius clunicularis*, *A. posterus*, *Bel. hastatus*.
2. C. à *Ostrea Knorrii*. *Rhynchonella varians*, *Avicula echinata*, *Ostrea Knorrii*, *Astarte pulla*, *Avicula ferruginea*, *Bel. Beyrichi*, *Trigonia interlævigata*, *A. orbis*.
3. C. à *Amm. Parkinsoni*.
4. C. à *Amm. Coronatus*. 1^o Avec *Perna isognomonoides*, *A. Humphriesianus*, *Bel. giganteus*.
2^o Avec *Gresslya abducta*, *A. Breckenridgii*, *A. pinguis*, *A. Gervillei*, *A. Sauzei*, *Modiola cuneata*, *Bel. gingensis*.
5. C. à *Inoceramus polyplocus*, avec *I. polyplocus*, *Gresslya donaciformis*, *Pholadomya transversa*, *P. decorata*, *A. purchisonæ*.

(1) *Der Hannoversche Jura*. Berlin, 1854.

TERRAIN CRÉTACÉ.

Craie inférieure.

France. — M. Cornuel (1), poursuivant le cours de ses études sur les étages inférieurs du terrain crétacé, croit reconnaître dans le golfe parisien l'équivalent des calcaires à caprotines du sud. Ce serait la couche fluviolacustre à argiles panachées et à *terosthique*, supérieure aux argiles ostréennes.

En 1859, M. A. Gaudry avait signalé la présence de l'étage comien, ou plutôt de l'étage aptien, à Wissant (Pas-de-Calais), suite de la présence de l'*ostrea Leymeriei* dans des argiles qu'alors confondues avec celles du gault. M. Le Hon (2) entre ce fait, et ajoute qu'il a observé une discordance de strates très-marquée entre les argiles à *ostrea Leymeriei* de Wissant et celles du gault.

M. Ebray (3) a publié un travail assez étendu sur le département de l'Yonne, de l'Aube, de la Haute-Marne, de la Meuse et des Ardennes.

Citons encore un travail de M. Harlé (4) sur les calcaires crétacés des environs de Sarlat (Dordogne) et un mémoire de M. Guès (5) sur la craie de Dax.

Craie supérieure.

France. — Les terrains crétacés supérieurs ont été l'objet de travaux importants. M. Hébert (6) a publié le résumé de ses observations sur la craie marneuse et la craie blanche du bassin de Paris, où il établit plusieurs horizons paléontologiques. Ce travail a servi de base à M. de Mercey (7) pour son étude de la craie du nord de la France.

M. Danglure (8), se fondant sur l'examen des fossiles, range la craie de Saint-Omer dans l'étage de la craie marneuse à *microcorangium*.

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 675.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 14.

(3) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 209.

(4) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 120.

(5) *Congrès scientifique de Bordeaux*, 38^e session, t. III.

(6) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 605.

(7) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 631.

(8) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 90.

M. Arnaud (1) a étudié la distribution des rudistes dans la craie supérieure. Il n'admet pas la division en trois horizons, celui du sphærolites Coquandi, celui du sphærolites Heninghausi, et celui de l'hippurites radiosus; et pour prouver que cette division n'est nullement confirmée par l'étude attentive des faits, il publie un tableau très-détaillé comprenant trente-neuf assises distinctes, avec l'indication du moment où chaque espèce de rudistes apparaît pour la première et pour la dernière fois.

M. Leymerie (2) a signalé l'existence dans la Haute-Garonne d'un système de couches qu'il regarde comme supérieur à la craie blanche, et qui cependant est inférieur au terrain éocène : il propose pour ce groupe le nom de *système garumnie*.

A cette occasion, un débat s'est engagé entre M. Leymerie et M. Hébert, ce dernier trouvant que la présence des assises supérieures du terrain crétacé dans les Pyrénées n'est nullement démontrée.

Hanovre. — La formation crétacée existe au Zeltberg, près de Lünebourg, où elle est exploitée dans plusieurs carrières; cet affleurement est intéressant par sa position intermédiaire entre le *Pläner* du Hartz et de la Westphalie et la craie d'Angleterre. M. de Strombeck (3) y a établi les divisions suivantes :

- Sénonien supérieur.* 1° Étage de la *Belemnite* *macronata*.
 2° Étage de la *Belemnite* *quadrata*.
Sénonien inférieur. 1° *Pläner* supérieur à *Inocer. Cuvieri*.
 2° — à *Scaphites Geinitzi*.
Turonien. 1° *Pläner* supérieur à *Inocer. Brongniarti* ou à *Galerites conicus*.
 2° Marnes à *Inocer. mytiloides*.
Cénomanién. 1° *Pläner* inférieur à *Amm. Rothomagensis*.
 2° — à *Amm. varians*.
 3° *Tourtia*.
Gault. *Flammenmergel*.

Basse-Silésie. — M. Drescher (4) a fait une étude géologique et paléontologique détaillée de la formation crétacée des environs de Löwenberg, en Basse-Silésie. Il y distingue les étages suivants :

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 339.

(2) *Revue des Sociétés savantes*, t. III, 305.

(3) *Zeit. d. d. G. G.*, XV, 97.

(4) *Zeit. d. d. G. G.*, XV, 291.

- Sénonien. . { 1° *Ueberquader silésien* à *Cyrena cretacea*, *Cardium Otta*, etc.
 2° *Quadersandstein* supérieur à *Ammonites subtricarinate*.
 3° *Couches de Neu-Warthau*, à *Trigonia aliformis*, *lanceolatus*, etc.
- Turonien. . { 1° Marnes sableuses et calcaires marneux à *Inocer. Bruguieri*, *micraster coranguinum*.
 2° Dépôts argilocalcaires à dents de poissons.
- Cénomanién ou *Quadersandstein* inférieur, avec *Amm. Rhetomagensis*.

Il convient de rapprocher de ce travail une étude de M. Kunth sur le bassin crétacé de Lahn, dans la même contrée. Les couches y sont très-bouleversées et paraissent avoir subi l'action d'une force venant du sud. M. Kunth croit trouver le principe de cette action dans l'écroulement du cratère granitique de l'Hirsch, qu'il place à la fin de l'époque tertiaire.

Sicile. — Aux environs de Palerme, on rencontre une formation appartenant au terrain crétacé, que l'on a désignée sous le nom de *Ciaca*. M. Gemmellaro (2) la divise en deux zones : la supérieure, ou à *Caprina Aguillonii* d'Orb. se montre à Addaura et Valdesi; l'inférieure, ou à *Nerinea Lamarmoræ* Mngh., est surtout développée à Graci di Monte Pellegrino, Rotula et Santa-Maria di Gesù.

M. Gemmellaro décrit vingt-cinq espèces de néritides de la zone inférieure, sur lesquelles vingt-trois sont nouvelles, une douteuse, et la dernière (*N. Lamarmoræ*) a été publiée par M. Nerghini comme venant de Sardaigne.

La zone supérieure a fourni huit espèces, parmi lesquelles *Nerinea Uchauxiana* d'Orb., *N. Fleuriausa* d'Orb., et *N. cincta* Mngh. Les cinq autres sont nouvelles.

M. Gemmellaro a décrit du même gisement dix espèces de turrids, dont une seule est connue, la *T. Aguillonii*. Ces dix espèces appartiennent à quatre genres différents, dont un, le genre *Sphæracaprina*, est de la création de l'auteur. Toutes ces turrids proviennent de la zone supérieure de la *Ciaca*.

(1) *Zeit. d. d. G. G.*, XV, 714.

(2) Palerme, 1865. *Giornale di scienze naturali*, I. — (Extrait par M. de la Billot.)

Classification générale du terrain crétacé.

Dans un récent ouvrage, M. Reynès (1), dont nous avons déjà fait connaître les travaux sur le Sud-Est de la France (2), a proposé une classification du terrain crétacé qui est essentiellement basée sur l'existence des fossiles caractéristiques :

1. Horizon des *Belemnitella mucronata*, *B. quadrata*, *Microster coranguinum*, *Hemipneustes radiatus*, etc.
Craie de Maëstricht et de Menden; craie supérieure; Dordonnien et Campanien de M. Coquand; sénénien de d'Orbigny (en partie); craie blanche et craie marneuse de Brongniart (en partie).
2. Horizon des *Radiolites fasciostatus*, *Sphaerulites singularis*, *Microster brevis*; couches à *Ostrea auricularis*; couches à *Hippurites cornuastensis*, *Sphaerulites anguloides*.
Craie supérieure; craie marneuse, Brongniart (en partie); Sénénien, d'Orbigny (en partie); Turonien, d'Orbigny (en p.); Santonien, Cenomanien, Provencien, Coq; horizon de l'*Ostrea auricularis*, Trig. ; Craie de Villedieu et calcaire à hippurites, Reynès.
3. Horizon des *Amm. peramples*, *Amm. papalis*, et *Amm. Deverini*; couches à *Radiolites cornuastensis*.
Craie marneuse, Brong. (en p.); craie micacée de Touraine, d'Arch.; sables d'Uchaux, Reynès; horizon de l'*Amm. peramples*, Trig.; Normandien et Angoumien, Coq; Turonien, d'Orb. (en p.); craie inférieure.
4. Horizon des *Inoceramus labiatus*, *Hemister Verneuili*, *Amm. Wiebmanni*.
Craie marneuse, Brong. (en p.); Turonien, d'Orb. (en p.); Angoumien, Coq. (en p.); zone de la *Rhynchonella Cuvieri*, Trig.
5. Horizon des *Ostrea columba*, *O. bisurculata*, *O. carinata*, *Caprina adversa*, etc.
Couches à *Ostracods*, d'Arch.; craie inférieure, groupe de l'*Amm. bisurcularis*. Trig.; Carénien et Cardénien, Coq.; Cenomanien, d'Orb. (en p.).
- Horizon des *Turritites costatus*, *T. tuberculatus*, *Amm. Rothomagensis*, *Lam. inflatus*, etc.
Craie glauconieuse, Brong. (en p.); craie marneuse et grès vert supérieur; Cénomaniens, d'Orb. (en p.); Rothomages, Coq.; craie de Barent, Reyn.; groupe du *Pecten Asper*, Trig.
- Horizon des *Amm. latus*, *Amm. Delucii*, *Isurinus rostratus*, etc.
Gault; Albien, d'Orb.; craie glauconieuse, Brong. (en p.).
- Horizon des *Amm. Cornueli*, *Plicatula radiosa*, *Pecten radiatus*, etc.
Argile à *Plicatula*, Cornuel; Argiles Cize, Pulligny, grès vert inférieur; Aptien, d'Orb.

De l'étage dans la formation crétacée, *Mémoires* 1910
Revue de géologie, III, 231.

9. Horizon des *Chama ammonia*, *Pteroceras Palagi*.

Calcaire à *Chama ammonia*; Urgonien, d'Orb. (en p.).

10. Zone des *Ammon. Antleri*, *Ostrea Couloni*; *Crioceras Emmerli*.

Grès vert inférieur; Néocomien et Urgonien, d'Orb. (en p.).

Cette classification a été discutée sommairement par M. Godwin-Austen (1).

Ce savant trouve que les généralisations faites par M. Deby s'appuient sur un bien petit nombre de fossiles, dont très-peu se retrouvent en Angleterre, où leurs horizons sont d'ailleurs mal définis. En outre, il fait observer que la craie blanche glaise, si peu riche en fossiles, se continue géologiquement en Belgique. Or cette dernière contient près d'un millier d'espèces dont trente-cinq seulement se retrouvent dans la craie d'Angleterre, et encore faut-il les rechercher dans toute la hauteur du terrain crétacé.

M. Godwin-Austen se demande alors ce que c'est qu'un étage ou un horizon? Et sans répondre à cette question, il annonce qu'il se propose de la traiter prochainement.

TERRAIN TERTIAIRE.

Flore.

Java. — M. Göppert (2) a décrit la flore tertiaire de Java, d'après les collections recueillies par M. Jungbluth. Ses observations l'ont conduit à cette remarque générale, que les conifères, si fréquents dans la formation tertiaire de l'Europe, l'Asie et de l'Amérique du Nord, manquent jusqu'ici complètement dans celle des îles tropicales, dont la flore fossile présente une ressemblance frappante avec celle qui y végète aujourd'hui, même plusieurs espèces tout à fait identiques.

Éocène.

France. — M. Munier a annoncé à la Société géologique qu'il avait trouvé dans les marnes crayeuses de Mendon des mon-

(1) *Geological Magazine*, II, 197.

(2) *Neues Jahrb.*, 1864; 177.

fossiles se rapportant aux espèces *Paludina aspersa* et *Cerithium modunense*. Ces marnes crayeuses sont donc lacustres, et il n'est pas étonnant qu'elles soient réparties d'une manière si inégale dans les environs de Paris. D'après M. Munier, ce terrain lacustre devrait d'ailleurs être rapporté à Bracheux et à Rilly.

Dans l'endroit où s'est déposé le conglomérat de Meudon, les marnes crayeuses n'existent pas, et le conglomérat repose directement sur la calcaire pisolitique; mais on y trouve les mêmes fossiles que dans les marnes crayeuses qui sont cependant à une altitude beaucoup plus grande.

Il serait intéressant de relever sur une carte des environs de Paris les parties où existent les marnes crayeuses; elles indiquent, en effet, des bassins lacustres dont les parois étaient déjà formées par de la craie, comme pour le lac postérieur de la Beauce (1).

Autriche. — M. Guido Stache (2) a étudié le terrain éocène de la Carniole intérieure et de l'Istrie; il y distingue les étages suivants :

II. Étage éocène supérieur.	{	7. Marnes et grès peu ou point fossilifères.
		6. Conglomérats et marnes fossilifères, riches en nummulites.
I. Étage éocène inférieur.	{	Groupe des calcaires à nummulites.
		5. Calcaire à Nummulites proprement dit.
		4. Calcaire à Borelis ou à Alvéolines.
	{	Groupe des calcaires sans nummulites.
		3. Calc. à foraminifères supérieur.
		2. Couches de Cosina (d'eau douce).
		1. Calcaire à foraminifères inférieur.

L'assise n° 1 se compose de calcaires d'un gris noir, reposant directement sur la craie supérieure à rudistes.

Les couches n° 2 de Cosina sont des calcaires d'un gris enfumé, contenant des chara et des moules de gastéropodes, notamment des nélanies.

L'assise n° 3 se compose de calcaires solides, blancs ou jaunâtres, remplis de petites coquilles de foraminifères des genres *millolites* et *orbitolites* (*triloculina*, *quinculoculina*, etc.). Ces couches sont en rapport intime avec les précédentes, qu'elles remplacent souvent.

Le groupe des calcaires nummulitiques est de beaucoup le plus dé-

(1) Note de M. Delessa.

(2) *Jahrb. d. K. K. g. B.*, 1864; 11.

veloppé : son terme le plus constant est l'assise n° 4, qui a sou plus de 200 mètres. La teinte des couches est claire : il est difficile de les distinguer des calcaires à rudistes, sur lesquels ils reposent fréquemment sans intermédiaire.

Les calcaires n° 5 sont de couleur claire, en bancs épais, et tiennent de la silice, qui leur donne beaucoup de dureté. On y trouve les espèces suivantes : *Nummulites distans*, *N. granosa*, *N. perforata*, *N. striata*, *N. irregularis*, *N. Murchisoni*.

Quant aux conglomérats de l'assise n° 6, ils sont formés de nummulites et de fragments de calcaire. Leur ciment est marnosa. On y trouve : nummulites *Lucasana*, *N. granulosa*, *N. exposita*.

Limite de l'éocène et du miocène; oligocène.

La division du terrain tertiaire en trois étages : éocène, miocène et pliocène, proposée par sir Charles Lyell et acceptée longtemps par les géologues, répond-elle à l'état actuel de nos connaissances? Telle est la question qui, depuis quelques années, préoccupe divers savants, notamment M. Beyrich, qui, d'après son avis, a cru devoir créer un étage nouveau, intermédiaire entre le miocène, et auquel il a donné le nom d'*oligocène*.

L'un de ses principaux arguments était la difficulté qu'on éprouve à classer les sables de Fontainebleau dans les étages du tertiaire de Charles Lyell; ces sables, bien connus depuis le temps de M. Deshayes sur les mollusques tertiaires, contiennent une faune tout à fait spéciale, qu'on retrouve en Belgique et en Allemagne. En outre, les espaces occupés par cette faune sont sans rapport avec ceux que recouvrent les formations éocènes et miocènes. Enfin, l'intercalation des sables de formation marine entre les étages lacustres, le gypse et le calcaire de la Beauce, sans qu'il y ait une période géologique bien tranchée, marquée à son commencement et à sa fin par des changements considérables.

M. Deshayes a lui-même reconnu, en 1857, que la faune des sables de Fontainebleau présentait peu d'espèces du calcaire tertiaire, et différait encore davantage de celle des faluns du Bassin de Paris, de sorte qu'il paraissait disposé à admettre l'existence d'un « quatrième membre » du terrain tertiaire.

C'est ce quatrième membre que M. Beyrich a introduit sous le nom d'*oligocène*. Et, de la comparaison du bassin de Mayence avec celui de Paris et les formations tertiaires de Belgique, il conclut que l'étage oligocène pouvait être divisé en trois assises

3. Oligocène supérieur (calcaire de la Beauce; système Rupélien de Dumont).
2. — moyen (sables de Fontainebleau; Tongrien supérieur; lignites de Mayence).
1. — inférieur (gypse de Montmartre; système Tongrien inférieur).

Les vues de M. Beyrich ont été adoptées par plusieurs géologues, et notamment par M. de Kōnen (1), qui a publié une comparaison des dépôts oligocènes de la Belgique, du nord de l'Allemagne et du sud de l'Angleterre.

Ce géologue classe les couches de Brockenhurst et la série d'Headon dans l'oligocène inférieur; et l'argile à *Septaria*, de l'oligocène moyen de Belgique, lui paraît représentée, dans l'île de Wight, par la série de Hempstead, contemporaine des sables de Fontainebleau.

On a vu aussi plus haut que l'étage oligocène avait été introduit par M. Sandberger dans sa classification des terrains tertiaires supérieurs.

Toutefois, Sir Charles Lyell (2) n'a pas cru devoir adopter la nouvelle classification de MM. Beyrich et de Kōnen; voici comment il s'exprime à ce sujet dans la nouvelle édition de ses éléments :

« Après mûre considération, il me paraît que ce qu'il y a de mieux à faire est de s'en tenir à la classification adoptée depuis longtemps par tant de géologues, et qui place le gypse de Montmartre au sommet de l'étage éocène; et si l'on arrive à démontrer qu'une partie du Tongrien de Dumont, ou des couches d'Allemagne classées par M. Beyrich dans l'oligocène inférieur, est strictement contemporaine du gypse de Paris ou des couches de Cambridge dans l'île de Wight, alors il conviendra de la séparer du l'ocène inférieur pour la réunir à l'éocène supérieur. Quant à présent la ligne de démarcation entre ces deux formations, quelque part qu'on la trace, ne peut manquer d'être arbitraire. »

Miocène.

Faune.

Le P. Sanna Solaro (3) a découvert dans le miocène sous-pyénéen d'Escanecrabe, dans la Haute-Garonne, un bassin de *Dinosaurium*, c'est-à-dire une portion jusqu'alors inconnue de cet

1) *Geolog. Society*, 1864, 97.
 2) *Elements of Geology*, 244.
 3) *L'Institut*, 1864, 319.

animal. Cet ossement présente des caractères qui semblent indiquer une certaine affinité avec les marsupiaux. Il n'est guère probable d'après cela, que le *Dinotherium* fût, comme l'avaient pensé Buc land et de Blainville, un animal vivant habituellement dans les lacs et y trouvant sa pâture. D'ailleurs les incisions profondes et les bords tranchants de ses molaires prouvent que les végétaux qui lui servaient de nourriture devaient offrir une résistance plus grande que celle des racines, des tiges ou des feuilles des plantes lacustres.

France. — M. Tournouer (1) a continué ses études sur les terrains tertiaires moyens de l'Aquitaine; il rapproche les coquilles de *Natica crassatina* du terrain nummulitique, en insistant sur les caractères paléontologiques de cet étage qui se relie à la fois à l'éocène et au miocène sans pourtant se confondre avec l'un d'eux.

M. Pellat (2) a publié une note sur les faunes de la région de la Dordogne; il n'accepte pas les conclusions de M. Tournouer, et cherche à préciser les différents niveaux fossilifères de cette localité; il établit deux grandes divisions bien tranchées.

Autriche. — On a trouvé (3), dans les lignites de Hart, près Gloggnitz, au sud de Vienne, un crâne bien conservé d'un *Hyotherium Meissneri*. Cette découverte prouve que le lignite de Hart est du même âge que les dépôts marins néogènes du bas de la Vienne. On a aussi rencontré, dans le charbon de terre de Lohr, en Bohême, une dent canine d'*Anthracotherium magnum*. M. Schimper remarque que ce fait, joint aux observations de M. Joly, prouve que ce charbon appartient à la période oligocène, et est contemporain de ceux de Solzka, en Carniole, de Zovencodo, en Hongrie et de Monte-Promina, en Dalmatie.

Baltique et Silésie. — Le gisement et l'origine de l'ambre ont été étudiés en 1843, l'objet d'un premier travail de M. Göppert. Depuis, le même auteur a continué ses études sur l'ambre de la Baltique et sur celui de Silésie (4) qu'il place tous les deux dans le terrain miocène.

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 649.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, XX, 670.

(3) *Institution géologique de Vienne*, 1863.

(4) *Zeits. d. deut. Geol. Ges.*, XVI, 139.

plus, les faits observés en Sicile ne peuvent confirmer l'opinion déjà émise par lui, que l'asthme est bien une réelle variété, par des conifères. Il annonce, en outre, la prochaine publication d'un travail sur la flore faune de cette montagne.

Abstract

Angleterre. — On a trouvé à Bridlington, sur le littoral de l'estuaire, par 54 degrés latitude nord, un dépôt de nature diverse et d'âge un peu plus récent que le sang de Norwiche. La composition de ce dépôt est hétérogène : il est formé de cailloux et de galets de roches diverses, parmi lesquelles on trouve notamment M. Woodward a joint à la collection une série de fossiles contenues dans ce dépôt à Bridlington. On y trouve des teintes d'argile, de la craie, de la chaux, de la marne, de la silex (brique); la proportion d'argile est variable et la composition est p. 100. Des 64 espèces, 54 sont communes et 10 sont spéciales à Bridlington.

Ce qu'il y a de fort remarquable, c'est que sur les bords du glacier, restent après l'enlèvement des moraines blanches, et sur les bords du glacier, restent aujourd'hui les régions arctiques et les glaciers qui se trouvent jusqu'aux côtes d'Angleterre. Le froid a donc dû être très intense pendant la période du crag blanc, et très doux pendant la période de la formation de Norwich, durant laquelle il y a eu de grandes oscillations dans la température; le froid a donc dû être très intense pendant la période du crag blanc, et très doux pendant la période de la formation de Norwich, durant laquelle il y a eu de grandes oscillations dans la température; le froid a donc dû être très intense pendant la période du crag blanc, et très doux pendant la période de la formation de Norwich, durant laquelle il y a eu de grandes oscillations dans la température.

Classification générale du terrain cartographique

En 1839, M. Lyell avait proposé le terme *pliocène* comme abréviation pour *pliocène supérieur*, et cette expression s'est bientôt répandue, M. Forbes l'ayant appliquée dans son ouvrage sur la faune et la flore fossiles des îles britanniques. Mais M. Forbes l'avait appliquée, non pas au vieil *pliocène* supérieur, mais aux couches post-tertiaires; comme on le voit, M. Lyell leur donne aujourd'hui le nom de *pliocène*, pour l'ancien

1) Lyell. *Elements of Geology*, 196

toute confusion, il croit devoir renoncer complètement à l'usage du mot *pleistocène* (1).

Sa nouvelle classification des terrains tertiaires comprend de l'étage *pliocène*, divisé en *supérieur* et *inférieur*; l'étage *miocène* dont il fait également deux groupes; l'étage *éocène*, divisé en trois assises.

— Enfin M. Fridolin Sandberger (2), en décrivant les fossiles du bassin tertiaire de Mayence, a publié un tableau comparatif des terrains tertiaires supérieurs qu'il nous paraît utile de reproduire en entier.

(1) *Elements of Geology*, 6^e édition, 107.

(2) *Die Conchylien des Mainzer Tertiärbeckens*. Wiesbaden, 1863.

TABLEAU COMPARATIF

DES TERRAINS TERTIAIRES SUPÉRIEURS.

	Bohême.	Bassin de Vienne.	Wurtemberg, Bavière et Carle Badois du lac.	Suisse
Pliocène.		a. Sable à Dinotherium. b. Sable à Congeria.	Sable à Dinotherium.	
Miocène.	Sables marins de Rudelsdorf, Abtsdorf, etc.	Couches marines et à cérithes du bassin de Vienne.	Molasse d'eau douce supérieure Schistes d'Oeningen. Tuf phonolitiques.	Molasse supérieure
			a. Calcaires de Nördlingen, Harrieden, etc. b. Molasse marine de Bavière (Souabe supérieure) et du cercle du lac Badois.	Molasse moyenne
Oligocène	Calcaire à coquilles terrestres de Tachowitz, Lipon, Kolosoruck, etc. Lignite.	Couches de Loibersdorf, Gaudernsdorf.	a. Calcaires de Mösskirch, Hopetenzell, Um, Zwiefalten. b. Molasse feuilletée grise et bigarrée.	Molasse inférieure
	Grès d'Alsattel.		Couches à cyrènes, et vieille molasse marine de la Haute Bavière.	Molasse inférieure
	supérieur.			
	moyen. . .			
	inférieur.		Bohnert de l'Alb. Plantes et couches marines de Häring en Tyrol, Flysch?	

Alsace, saône.	Bassin de Mayence proprement dit.	Bassin de Paris.	Belgique.	Allemagne du Nord et de l'Ouest.	Angleterre.
oches therium ols de a Chaux- onds.	Sable à Dino- therium d'Oppelsheim, Piedders- heim, etc.		Crag inférieur?		Crag inférieur?
	Couches feuilletées supé- rieures de Laubenheim.		Sable noir de Rekton, Giffel, etc.	Sable noir de Sylt, Dampfen.	
aires nes et le.	Calcaire à Litorinoides. Wiesbaden, Mayence, Cronthal, Birlgel, etc.				
marins.	Couches à Corbicula, Dromersheim, Weissenau, Oberrad, etc.	Faluns de la Touraine.	Couches de Boldenberg.	Roche du Holstein.	
re à terres- sarnes. Loms, n, Sor- m, erg. e feuil- veller).	a. Calcaire à cérithes et coquilles d'eau douce. Hochheim, Oppenheim. b. Grès feuilleté. Münzenburg, Seckbach.	Calcaire de la Beauce (étage supérieur).		Lignites du Rhin inférieur et du Westerwald.	
urs telles réues, agen, n, Loms.	Marnes à cyrènes. Hochheim, Hach- onheim, Marcobrunn, etc.	Calcaire de la Beauce (étage inférieur).		Sable marin de Cassel, Bünde, Frieden, Sternberg, Cresfeld, Neuss, Düsseldorf.	
bes es de , Bam- i, etc. tes ns de sen?	Argile à Septaria, Kreuz- nach, Offenbach, Weinheim, etc.	Sables de Fontainebleau (division supérieure)?	Argile à Septaria, Boom, Baesle, Schelle, Rupelmonde (rupélien supérieur Dum).	Argile à Septaria (Mark, Anhalt, Mecklenbourg, Hanovre, Hesse électorale).	
aire et sloues ach, rg, n, etc.	Sable marin de Weinheim, Waldhöckel- heim, etc.	a. Sables inférieurs de Fontainebleau, de Jeurres, Morigny, Versailles. b. Marnes à Cythérées et Ostrea Cyathula.	a. Sables de Bergh, Klein-Spauwen, Vlieck, etc. (rupélien inférieur). b. Marnes de Hénis, Vieux- Jons (longrien supérieur Dum).	Lignites et minerais de fer de Cassel, Gross- Almerode, etc. Sable marin de Steuth, Neust, Magdebourg.	a. Lit à Corbula. b. Série de Hompstead. Marnes.
t de n, gen, rg, Gypse sob, eilm.	Calcaire d'eau douce de Buschweiler, Ebstadt et Malsch, en Badois.	Gypse de Montmartre.	Sable glauconieux de Hössel, Lethen, etc. (longrien inférieur Dum).	Glaucanie sableuse de Westeregeln, Osterwed- dingen, Lattdorf, etc. Lignite de la Marche, du Samland, etc.	Série de Bembridge, Osborne, Saint-Helen, Headon.

TERRAINS POST-TERTIAIRES.

Bassin de la Seine. — M. Belgrand (1) a étudié les terrains diluviens du bassin de la Seine, dans lesquels il établit trois divisions : 1° le limon des plateaux ; 2° le diluvium des coteaux ; 3° le diluvium des vallées.

Le premier comprend la terre noire de l'Auxois et le limon rouge à briques du Cambrésis et de la Brie ; on n'y a pas trouvé d'osments de mammifères.

Le second comprend les formations qui se sont produites dans des anses protégées contre la violence du courant diluvien ; les division se rattache l'arène ou terre à bâtir de la Basse-Bourgogne.

C'est au diluvium des vallées que se rapportent, d'après M. Belgrand, les deux dépôts si connus sous le nom de diluvium blanc et de diluvium gris.

Abordant ensuite l'examen de la cause qui a donné lieu à la formation de ces dépôts, M. Belgrand admet que, à l'époque quaternaire, toutes les montagnes du bassin de la Seine ont été touchées par des courants limoneux. Les vallées se creusant sous l'action de ces courants, la vitesse allait en diminuant sur les hauteurs ; elle finissait, selon M. Belgrand, par permettre le dépôt du limon ; tandis qu'elle restait assez grande, près du fond, pour empêcher toute précipitation des matières en suspension.

Les matériaux lourds entraînés, les sables fins, se déposaient sur les revers opposés des contre-forts, où l'eau perdait de sa rapidité et produisait des tourbillons ; ainsi se formait le diluvium des coteaux.

Maintenant le sable et les galets, en cheminant au fond des vallées, laissaient sur les bords, comme autant de témoins, de longues bandes de dépôts qui constituent le diluvium des vallées.

M. Hébert (2), tout en étant d'accord sur plusieurs points avec M. Belgrand, pense que le relief du sol devait différer notablement, à l'époque quaternaire, de ce qu'il est aujourd'hui, et que le climat a dû jouer un grand rôle dans la production des dépôts diluviens.

(1) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 152.

(2) *Bulletin de la Société géologique de France*, XXI, 120.

Allemagne du Nord. — M. Berendt (1) a fait l'étude des dépôts diluviens des environs de Potsdam. Il y distingue trois étages qui sont, en commençant par la partie inférieure :

1° — L'étage du sable diluvien, composé de grains de quartz et quelquefois de feldspath, vraisemblablement empruntés aux granites de la Scandinavie. Ce sable contient des intercalations d'argile diluvienne avec fossiles d'eau douce et ossements de mammoth, de rhinocéros tichorhinus, etc.

2° — L'étage des marnes sableuses diluviennes, avec fossiles d'eau douce.

3° — Enfin l'étage du sable supérieur (Decksand) ou du Lehm, avec galets roulés en grand nombre.

Les formations diluviennes ont pour base tantôt l'argile à *Sep-taria*, tantôt la formation lignitifère : elles sont recouvertes par des alluvions, formées de sable alternant avec de l'argile et servant de base à des prairies et à des tourbières.

Ajoutons que M. Vortisch (2) a donné une description complète des espèces de roches et de minéraux trouvées jusqu'ici dans le diluvium du nord de l'Allemagne. L'auteur pense que des courants d'eau ont dû très-bien suffire pour apporter les galets diluviens, et il ne croit pas nécessaire d'invoquer le transport par les glaces flottantes, non plus que l'existence de cette calotte glaciaire universelle à laquelle il lui semble qu'on a trop facilement recours aujourd'hui.

Citons également un travail d'ensemble de M. de Benningsen Förder (3), qui a analysé avec soin les diverses formations qu'on rencontre dans les périodes alluvienne, diluvienne ou quaternaire, et tertiaire ; il en a donné une classification en 59 divisions basées sur la nature des dépôts.

Autriche. — Le terrain diluvien des environs de Bude (Ofen) emprunte un intérêt tout particulier à la présence, au milieu des couches du löss, et au-dessus des calcaires marneux éocènes, d'une formation de tufs calcaires en bancs horizontaux. Ordinairement la matière de ces tufs est de la chaux carbonatée à grain fin et cristallin, et, dans plusieurs endroits, on y exploite même un marbre qui rappelle celui des terrains les plus anciens. Cependant

(1) *Die Diluvial Ablagerungen der Mark Brandenburg*, 1863.

(2) *Archiv. des Vereins der naturg. in Mecklenburg*, 1863 ; 20.

(3) Berlin, 1863.

M. Krenner (1) y a rencontré, dans une cave de la ville de Buda, un gisement de pisolites bien caractérisé.

Ce gisement a plus de 1^m.50 de puissance, et est formé de grains sphériques dont la grosseur varie depuis celle d'un pois jusqu'à 0^m.06 de diamètre, les grains les plus gros se trouvant d'ordinaire à la partie supérieure. Ils sont constitués par des couches concentriques, alternativement blanches et jaunes. A l'intérieur on trouve généralement un grain de sable quartzueux ou de calcaire pur. Leur densité est de 2,876. Ce résultat, rapproché de l'analyse chimique, conduit M. Krenner à cette conclusion, que les pisolites de Buda sont de l'arragonite : elle doit vraisemblablement avoir son origine à des sources thermales possédant une température de moins 30 degrés C. Du reste, il existe encore à Buda, non loin du Kaiserbad et à Altöfen, un grand nombre de sources de calcaires; mais elles ne produisent plus de dépôts.

Enfin, le grand nombre d'ossements d'éléphants et autres quaternaires trouvés dans les tufs calcaires des environs de ces sources thermales faisaient de la contrée en question la retraite favorite des grands mammifères de l'époque diluvienne.

Danemark. — On rencontre, dans les plaines du Danemark et du Schleswig-Holstein, une formation qui est connue sous le nom d'Ahl, et qui nous paraît analogue à l'Allos des Landes. M. F. Hammer (2) avait décrit l'Ahl, il y a trente ans, et depuis, l'ayant retrouvé jusqu'à Anvers, il a jugé utile d'en donner une description nouvelle.

La base de l'Ahl est formée par un banc de galets ronds. Le grès proprement dit est un grès tourbeux de 0^m.15 à 0^m.30 d'épaisseur, constitué par des grains de sable que relie un ciment visqueux, combinaison d'acide humique et d'hydroxyde de fer. Il retient l'eau, à cause de sa compacité, et les bruyères s'y développent facilement. Comme les racines ne peuvent pas pénétrer dans le sol qu'il fournit est impropre à la végétation des arbres.

Au-dessous du grès viennent de 12 à 30 centimètres de sable quartzueux pur, puis une couche d'égale puissance, nommée *Allos*, qui passe à la tourbe des bruyères, encore pénétrée par les racines des bruyères vivantes.

L'Ahl ne contient pas de restes organiques, non plus que la couche des galets sous-jacente; mais au-dessous de cette dernière

(1) *Jahrb. d. K. K. g. M.*, 1863; 402.

(2) *Neues Jahrb.*, 1863; 169.

on rencontre une argile contenant la *Cyprina islandica* et la *Corbula nucleus*, qui sont des espèces vivantes; on est donc certain que l'Ahl est une formation relativement moderne. M. Forchhammer insiste sur la grande analogie de l'Ahl avec le sable campinien de Belgique et le *Zand-diluvium* de Hollande, dans lequel M. Staring a trouvé des restes d'éléphants.

Suède. — Il y a fort longtemps qu'on a signalé, à Uddewalla, en Suède, une accumulation extraordinaire de coquilles modernes, recouvrant des collines assez élevées au-dessus du niveau de la mer, et qu'on en a tiré des conséquences sur les mouvements que le sol scandinave a éprouvés postérieurement à l'époque tertiaire. M. Gwyn Jeffreys (1) a visité cette localité, et en a étudié les coquilles avec un soin particulier. Il signale 97 espèces, savoir : 83 mollusques, 2 polypiers, 4 cirrhipèdes, 1 échinoderme, 3 annélides, 3 foraminifères, 1 éponge.

Norwège. — L'argile marneuse post-tertiaire de la Norwège est caractérisée par la présence de nodules marneux durs, de forme généralement ronde, fortement calcaires, et contenant à l'intérieur de petites particules de mica. Comme on n'avait pas trouvé de fossiles dans ces nodules, leur origine était restée fort incertaine : les uns y voyaient de simples concrétions nées dans la marne, les autres les prenaient pour des galets empruntés aux calcaires siuriens.

M. Sars (2) a été assez heureux pour rencontrer une centaine de ces nodules qui renfermaient des fossiles : ces fossiles étaient complètement pénétrés par la matière calcaire, et avaient tout à fait l'apparence de débris organiques fort anciens; cependant tous appartenaient à des espèces vivantes, *Yoldia pygmæa*, *Nucula tenuis*, *Tellina proxima*, *Osmerus arcticus*, *Ophiura Sarsii*. Ces corps organiques ont servi de centres de concentration pour l'élément calcaire, qui s'est accumulé tout autour d'eux.

L'*Osmerus* est un poisson arctique qu'on ne rencontre jamais vivant à la latitude de Christiania; il en est de même pour plusieurs des coquilles fossiles de l'argile. Le froid était donc plus intense à cette époque qu'aujourd'hui.

(1) *British Association*, 1863. *Trans.*, 73.

(2) *Magasin for Naturvidenskaberne*. Christiania, 1863.

Coquilles marines dans le diluvium.

A différentes reprises, certaines coquilles marines ont été trouvées exceptionnellement dans le terrain diluvien. MM. F. Reme et Lehmann (1) viennent encore d'observer le même fait dans le grand-duché de Posen. Ainsi, dans le gravier diluvien de Bromberg et à plus de 40 mètres au-dessus du niveau de la mer, ils ont rencontré *Cardium edule* et *Buccinum reticulatum*.

Il convient de rappeler que des faits semblables ont déjà été signalés, notamment à Abbeville par M. Boucher de Perthes. En outre, on a remarqué plus d'une fois que les coquilles marines des dépôts diluviens étaient généralement de celles qui servent à la nourriture de l'homme.

(1) *Zeitschrift d. d. g. G.*, XVI, 615.

NOTE

DE UN APPAREIL SERVANT A DÉTENDRE LA VAPEUR A DES PRESSIONS DÉTERMINÉES.

Par M. E. ROLLAND.

Dans l'industrie, la vapeur n'est pas seulement une puissance motrice; elle sert, en outre, comme agent de transport de la chaleur pour des opérations nombreuses et variées presque à l'infini. Plusieurs de ces applications se trouvent souvent réunies dans la même usine, et chacune d'elles peut exiger l'emploi de la vapeur à une tension déterminée. Par exemple, à côté des machines motrices timbrées à 6 ou 7 atmosphères, fonctionneront à moyenne ou basse pression des chauffages d'ateliers ou de matières en cours de fabrication.

Avec cette variété d'applications, il faut, pour éviter à la fois les dangers et les pertes, fournir à chaque système d'appareils la vapeur à la tension la plus convenable, et maintenir cette tension entre des limites aussi rapprochées

qu'il est possible. La nécessité d'obtenir pratiquement ce résultat, crée donc fréquemment pour l'industrie une difficulté assez grave. En principe, le moyen le plus simple de la résoudre est l'emploi de générateurs indépendants, aussi nombreux que les diverses pressions dont on a besoin; mais, au point de vue de l'économie, cette solution est presque toujours inadmissible.

Une autre combinaison plus praticable et bien connue consiste à faire passer d'abord la vapeur à haute pression dans une machine sans condensation, et à utiliser ensuite

l'échappement pour des chauffages. Ce système, appliqué à certains cas particuliers, peut donner d'excellents résultats, mais en général il a de nombreux inconvénients. D'abord, la vapeur sortant des machines ne convient pas à toutes sortes d'applications, parce que sa pression ne peut guère dépasser une atmosphère. De plus, pour que l'échappement suffise à assurer la marche régulière des appareils qu'il alimente, il doit donner constamment une quantité de vapeur au moins égale à leur dépense, augmentée d'un léger excédant, qui toutefois ne peut être considérable : le système perdrait ses avantages, et il serait alors peu économique d'employer des machines à condenser de prendre directement aux chaudières la vapeur nécessaire pour les chauffages. Les consommations des machines et des appareils qui en utilisent la vapeur échappement sont donc étroitement liés dans ce système, et devraient rester constantes ou varier parallèlement. Cette concordance est le plus souvent impossible à réaliser, soit la vapeur d'échappement est en grand excès, soit elle est insuffisante comme quantité ou comme pression. Enfin elle manque totalement en cas d'arrêt des machines ; on est alors obligé de laisser chômer les appareils qu'elle devrait alimenter, ou d'y introduire de la vapeur directement des chaudières. L'emploi de la vapeur d'échappement ne forme donc pas à lui seul une solution satisfaisante, et pour être avantageux, il doit rester limité à quelques cas spéciaux.

L'industrie se sert habituellement d'un moyen simple : les chaudières marchent à la plus forte pression dont on ait besoin, et l'on règle par des robinets l'admission de la vapeur dans les divers appareils. En principe, l'ouverture plus ou moins grande des robinets permet d'obtenir sur chaque point la pression voulue ; mais en réalité la marche est rarement satisfaisante, parce que les variations de pression sont très-nombreuses, et que, pour détruire

influence, il faudrait de la part des ouvriers des soins continuels. Dans les cas trop fréquents d'inattention ou d'erreur, le seul remède est la soupape de sûreté, remède bien imparfait, car il ne peut rien contre une arrivée insuffisante de vapeur, et il ne combat les arrivées trop considérables qu'en produisant des pertes. Son application réelle est d'ailleurs à la fois difficile et onéreuse. En effet, pour rendre efficaces les soupapes de sûreté, il faut les placer après les robinets de règlement. Mais des nécessités de service exigent presque toujours que chaque appareil ait son robinet spécial; on serait donc conduit à établir aussi une soupape de sûreté sur chaque appareil. Enfin, si les soupapes de sûreté ne sont chargées que pour la pression de règle, elles laissent constamment de la vapeur pendant la marche normale, et si elles sont chargées plus fortement, elles laissent une certaine marge aux excès de pression.

Les moyens employés d'ordinaire pour obtenir plusieurs pressions différentes avec la vapeur produite par une chaudière ne sont donc pas satisfaisants. La question, cependant, ne manque pas d'importance, car elle intéresse un très-grand nombre d'industries considérables, parmi lesquelles on peut citer la teinture, l'apprêt, le décatissage, l'impression des étoffes, l'imprimerie, le raffinage de mélasse, les distilleries, la fonte des graisses, les opérations de produits chimiques, de gélatine, de savons, de papiers, de conserves alimentaires, de confiseries, etc.

Il y a plusieurs années, M. E. Rolland, alors chef du service des tabacs, s'est proposé de trouver une solution générale du problème, et les appareils établis à cette époque avec le concours de M. Deménil, ingénieur placé sous ses ordres, ont reçu maintenant l'approbation d'une expérience assez longue pour prouver leur efficacité. On peut se rendre compte de leur ensemble et de leurs détails par l'examen des fig. 12 à 16 et de la

de la Pl. IV placée à la fin de cet article. Mais, pour en faire comprendre le principe et les dispositions particulières, il a semblé utile de donner ici une description plus générale et dégagée des éléments accessoires.

Lorsque dans l'une des branches d'un siphon rempli et contenant du mercure, on fait arriver un fluide quelconque, et en particulier de la vapeur, chaque changement de pression du fluide fait varier les niveaux du mercure dans les deux branches du siphon. Les mouvements du liquide peuvent être transmis à d'autres corps qui, par suite de cette liaison, prendront des positions diverses à mesure que la pression de la vapeur passera d'une valeur à une autre. Ainsi, dans les anciens manomètres à air et à mercure de la branche ouverte portait ordinairement un flotteur, dont la marche, reproduite au dehors par divers dispositifs convenables, permettait de lire sur une échelle les variations de la pression, et, comme on recevait une indication extérieure, la branche ouverte était la branche naturelle du flotteur. Veut-on maintenant produire un effet intérieur, par exemple une action sur l'entrée de la vapeur, il vaut mieux, au contraire, choisir la branche fermée pour prendre le mouvement, en y plaçant le flotteur et tous ses accessoires. La transmission qui en résulte comparée à celle qui aurait son point de départ sur la surface de la branche ouverte, offrira le double avantage d'une disposition plus simple et de l'absence de fuite, puisque tout le mécanisme est intérieur. Tel est le principe de l'appareil qui fait l'objet de cette note.

La branche, qui, dans le manomètre à siphon, communiquait avec la chaudière, est devenue un réservoir de assez grande capacité, à parois résistantes. Le tuyau amène la vapeur pénétrer verticalement dans la partie supérieure du réservoir; il est fermé à son extrémité, et présente latéralement des orifices allongés dans le sens de l'axe, et disposés symétriquement. Un tiroir, éga-

cylindrique, est ajusté à frottement doux sur le tuyau, et peut recouvrir les orifices à tous les degrés, depuis la fermeture complète jusqu'à l'ouverture, également complète. Le bain de mercure et le flotteur sont naturellement placés à la partie inférieure du réservoir, dans une cuvette. Le flotteur porte le tiroir par l'intermédiaire de tiges et d'ajustements destinés à permettre un règlement convenable. Tout cet ensemble n'est donc soutenu que par le mercure, et doit suivre tous les mouvements verticaux de la surface du bain. Du fond de la cuvette part un tube étroit, en forme de siphon renversé, qui remonte plus haut à l'extérieur, et se termine par un rélargissement considérable. Le jeu de ce système est facile à comprendre : si la pression dans le réservoir commence par être inférieure à sa valeur normale, le tiroir ayant été réglé pour démasquer complètement, dans ce cas, les orifices, la vapeur entre en plein et la pression s'élève. Alors le niveau intérieur du mercure et le flotteur s'abaissent; le tiroir suit ce mouvement et commence à recouvrir les orifices d'accès de la vapeur un peu avant que la pression normale soit atteinte; enfin, pour un excédant de pression qui dépend des dispositions de l'appareil, mais qu'on peut rendre très-faible, la fermeture deviendrait complète. Si, au contraire, la pression baisse, le niveau du mercure et le tiroir prennent un mouvement inverse, et l'entrée de la vapeur augmente.

L'élargissement ou cuvette, qui termine le siphon au dehors, est indispensable à la sensibilité de l'appareil. En effet, lorsque le niveau extérieur du mercure ne se meut que dans un tube étroit, son niveau dans la branche du manomètre en communication avec le réservoir change fort peu, à cause de la grande section relative du mercure dans cette dernière branche, et par conséquent le mouvement du flotteur et du tiroir reste aussi presque nul. Ce résultat est bon tant que la pression varie sans s'élever au degré normal; car les orifices devant alors rester ouverts, tout dépla-

cement du tiroir serait au moins inutile. Mais lorsque la pression approche de la limite qu'on a voulu lui fixer, faut, au contraire, pour la sensibilité du règlement, que le mouvement du tiroir devienne aussi rapide que possible : c'est-à-dire que toute la dénivellation du mercure se fasse dans la cuvette du flotteur. On remplirait cette condition en plaçant sur le tube, à la hauteur à laquelle arrive le niveau extérieur du mercure, un rélargissement tel que le liquide pût s'y étaler sans atteindre les parois, sous forme de large nappe d'épaisseur presque constante. En la pratique, il n'est pas nécessaire de donner à ce rélargissement des dimensions aussi étendues ; mais, en rendant l'appareil sera d'autant plus sensible qu'on fera le rélargissement plus large et qu'on rendra plus petite la section de la valve annulaire comprise entre le flotteur et sa cuvette. On ne peut toutefois descendre ici au-dessous d'une certaine limite. Il faut éviter, en effet, que le flotteur, venant à heurter accidentellement contre la cuvette, ne crée des frottements de grande importance.

On objectera peut-être à cet appareil qu'il exige une quantité considérable de mercure. Mais une dépense première de 100 ou même de 200 francs, qui paraîtrait élevée pour de la tôle ou de la fonte, ne peut devenir inquiétante par cela seul qu'il s'agit de mercure. La véritable question est de savoir si le mercure employé comme on vient de le dire se conserve aussi bien que les autres métaux. L'expérience de plusieurs années montre que le mercure ne se volatilise pas sensiblement lorsqu'il est couvert d'une couche d'eau, et lorsqu'on prend les dispositions convenables pour éviter qu'il ne s'échauffe fortement. Sur ce point comme sur tous les autres, les appareils ont déjà subi une longue épreuve, car le premier modèle commandé à M. L. Renne au mois d'août 1859, et essayé à la manufacture de Dieppe en mars 1860, n'a pas cessé de fonctionner, à partir de cette époque, d'une manière satisfaisante.

l'autres sont en service depuis plusieurs années dans les manufactures de Paris (Gros-Cailou et Reuilly) et de Châleauroux.

Il peut être utile de signaler la disposition suivante, essentielle à la bonne marche de l'appareil. Pour éviter des frottements nuisibles, et même des arcs-boutements, il faut faire coïncider à peu près l'axe du tuyau sur lequel glisse le tiroir avec l'axe de la cuvette qui reçoit le flotteur. Il convient donc de rapporter le tuyau et la cuvette sur le corps du réservoir par des ajustements susceptibles de quelque précision. Enfin, le choix d'un flotteur exige une certaine étude, sur laquelle nous allons donner quelques détails. Le flotteur soutient le poids des tiges et du tiroir, et doit conserver en outre une puissance suffisante pour vaincre tous les frottements accidentels. Cette condition exige pas que le flotteur ait un volume très-considérable, puisque le déplacement d'un décimètre cube de mercure réduit une force d'environ 13 kilogrammes $1/2$. Dans les grands appareils capables de débiter 1.000 kilogrammes de vapeur par heure, on a donné au flotteur un volume de dix décimètres cubes. Sa puissance totale est donc de 50 à 60 kilogrammes; mais son poids et celui des pièces qu'il supporte en absorbent près de la moitié. Il résulte de là que ses forces maxima, qui peuvent être mises en jeu pour produire l'ascension et la descente, sont toutes les deux égales peu près à 25 kilogrammes. La descente est le mouvement le plus facile, parce que les actions qui sollicitent vers le système sont mieux dirigées que dans l'ascension, pour maintenir la verticalité de l'axe, et que, par suite, les arcs-boutements deviennent presque impossibles. Cette observation conduirait à augmenter la force ascensionnelle aux dépens de la force de descente, et l'on peut le faire en élevant le flotteur; mais il ne faudrait pas aller trop loin, car c'est en s'abaissant que le tiroir arrête l'entrée de la vapeur, et l'on a intérêt à conserver plus de garanties contre

les pressions trop fortes que contre les pressions trop faibles.

Le flotteur doit être inattaquable par le mercure. Dans tous les métaux communs, on ne peut donc employer que le fer. La tôle serait possible, mais elle exigerait une construction d'œuvre compliquée; aussi a-t-on préféré la fonte. La densité de ce corps dépassant la moitié de celle du mercure, si le flotteur était en fonte pleine, la force ascensionnelle serait moindre que la force de descente, résultat contraire à celui qu'on doit rechercher. Il faut donc faire le flotteur en fonte creuse; mais s'il restait vide, le mercure pénétrerait presque toujours, soit à travers les pores de la fonte, soit par les ajustements de la tige. Pour éviter cet inconvénient, on le remplit avec un mastic composé de sable fin et de bitume peu fusible, tel que le bitume de Suède. Il faut choisir du sable de diverses grosseurs, afin d'augmenter autant que possible la proportion du bitume. On chauffe à chaud le mélange dans l'intérieur du flotteur, puis on ferme le couvercle. L'opération exécutée avec soin donne un remplissage sans vides ni pores. D'autres procédés pourraient peut-être, mais celui-ci a l'avantage d'être éprouvé. On pourrait aussi faire le flotteur en pierre très-compacte telle que du marbre.

Le siphon doit descendre à environ 1 mètre au-dessous du fond du réservoir, afin que le mercure ne puisse être lancé au dehors. En effet, pour éviter les pertes continuelles que donnent presque toujours les soupapes de sûreté prêtes à se lever, on est en général obligé de faire fonctionner les appareils au-dessus de la pression normale. En cet état, il se produit quelquefois dans la colonne de mercure un mouvement assez rapide pour l'entraîner au delà du point d'équilibre.

Il serait facile d'apporter à l'appareil dont la description précède diverses modifications pour en généraliser l'usage.

Le tuyau en fer du piston peut être remplacé, sur

partie de sa longueur, par un tuyau en caoutchouc renforcé de toile. Le réservoir extérieur serait alors mobile le long d'une glissière verticale, sur laquelle on le fixerait à telle hauteur qui pourrait convenir. Avec ce dispositif, on peut de l'extérieur, et en quelques instants, changer à volonté la pression de règle. Rien ne s'opposerait même à une marche normale au-dessous de la pression atmosphérique, si des pompes ou d'autres systèmes convenables étaient mis en jeu pour purger les appareils.

Dans le cas où l'on craindrait l'usure du tiroir et du tuyau cylindrique, il est facile d'adopter un tuyau offrant deux faces planes parallèles, où seraient pratiquées les ouvertures d'admission de la vapeur. Le tiroir se compose alors de deux plaques parallèles convenablement reliées, et par lesquelles l'action de la vapeur s'équilibre encore.

Enfin, on peut avec avantage introduire dans l'appareil une nouvelle application d'une disposition que M. E. Roland a déjà employée pour son thermo-régulateur.

Toutefois, avant de la décrire, il ne sera pas sans utilité de présenter quelques considérations destinées à préciser le problème à résoudre : la solution qu'il a reçue en ressortira plus nettement.

Examinons donc avec un peu plus de détail comment fonctionne l'appareil de détente sous l'influence d'un changement de pression, d'une augmentation, par exemple. Cette augmentation fera évidemment baisser le mercure dans la branche fermée du siphon, et le fera monter dans la branche ouverte. Quand la dénivellation sera suffisante pour que l'excédant de poids qui en résulte pour le flotteur puisse faire équilibre aux résistances passives du système, le mouvement sera sur le point de commencer, et il suffira pour le déterminer du moindre accroissement dans la pression du réservoir. Mais ce mouvement sera immédiatement soumis à l'action d'une force retardatrice qui croîtra à mesure que le flotteur s'abaissera, et qui n'est autre que la perte de

poids résultant pour le flotteur de son immersion de plus en plus grande dans le mercure. Dans l'appareil qui nous occupe, le flotteur est cylindrique; la perte de poids est, par suite, la force retardatrice à laquelle ils est soumis sont donc proportionnelles au déplacement vertical du système. Pour que le mouvement puisse continuer, il faut donc, avec la disposition indiquée en commençant, que la dénivellation du mercure produite par l'augmentation de pression fasse équilibre non-seulement aux résistances passives du système, mais encore à cette perte de poids constante, dont l'action est considérable. Son influence sur la sensibilité de l'appareil dépend nécessairement de la variation relative de la pression dans le réservoir pour un déplacement déterminé du flotteur; mais il est évident que pour donner à l'appareil toute la sensibilité dont il est susceptible, on doit introduire une nouvelle force perdue naissant avec le mouvement, de sens inverse à la force retardatrice, et variant comme elle proportionnellement au déplacement vertical du flotteur. Cette force une fois introduite, tout l'effet de la dénivellation du mercure restant disponible pour surmonter les résistances passives, et l'on peut, ou bien obtenir une sensibilité plus grande, ou bien réduire considérablement le volume du flotteur et la quantité de mercure. Le dispositif compensateur de M. L. Land a pour but de procurer ce double avantage.

Comme l'appareil que nous étudions n'en a pas pourvu en exécution, nous n'en ferons qu'une description succincte, suffisante toutefois pour l'intelligence du principe.

A l'intérieur du réservoir on place un levier sous un angle droit, dont l'une des branches est horizontale et suit la marche de règle. Cette branche est unie à la tige qui relie le flotteur à la soupape par une articulation à friction analogue à celle des pompes, et permettant à la fois le mouvement vertical de la tige et la rotation du levier autour de son point fixe. La seconde branche porte un cou-

points convenablement calculé. Dans le diagramme (fig. 17) :

- tt est la tige du flotteur;
- a le point fixe du levier soudé;
- b l'articulation avec la tige tt ;
- c une masse servant de contre-poids.

Les mêmes lettres avec des accents indiquent les positions du bras de levier correspondant aux angles d'écart maxima.

Supposons maintenant que, la tige tt descendant verticalement, le levier tourne d'un certain angle; le contre-poids c tendra à faire tourner le système autour du point fixe avec un moment dont la valeur sera proportionnelle au sinus de l'angle d'écart. Il est alors facile de voir, en examinant la figure, qu'il en résultera sur la tige tt une action verticale proportionnelle à ce même sinus, c'est-à-dire au déplacement vertical de la tige, lorsque l'angle d'écart reste compris entre des limites suffisamment étroites. Nous introduisons donc bien ainsi la force compensatrice qui nous était nécessaire. Il reste maintenant à déterminer le poids de la masse c , sa hauteur au-dessus du centre de rotation, la grandeur des bras de levier et des diverses pièces, leurs positions relatives, le tracé de détail des articulations; toutes ces questions ont été résolues, tant au point de vue théorique qu'à celui de l'application pratique, par M. E. Rolland dans un mémoire sur la réglementation de la température (*). Nous avons seulement cherché ici à faire ressortir l'utilité de l'application du principe, en renvoyant pour une étude plus complète à ce mémoire, dont nous devons nous borner à copier textuellement un extrait.

Ajoutons enfin que, si l'on n'a pas cru devoir adopter ce dispositif pour l'appareil de détente, ce n'est pas à la suite

*) E. Rolland. Mémoire sur la réglementation de la température, lu, par ordre de l'Académie, dans le *Recueil des Savants étrangers* pour 1864.

de difficultés d'exécution, mais bien parce que l'appareil, tel qu'il a été décrit d'abord, est déjà d'une sensibilité suffisante pour les cas ordinaires de la pratique.

Pendant une marche courante de plusieurs années dans diverses manufactures, les plus grandes variations n'ont pas dépassé 0,15 d'atmosphère; le système compensateur dont nous avons parlé les réduirait à 1 ou 2 centièmes, mais une pareille exactitude ne serait nécessaire que dans des cas spéciaux, tels que des expériences de précision; et c'est seulement en nous plaçant à ce point de vue que nous avons insisté sur cette disposition.

En résumé, M. E. Rolland est arrivé pratiquement à réduire à 0,15 d'atmosphère les variations de la pression de la vapeur dans ses appareils de détente, et c'est vraiment une solution toujours suffisante et complète du problème industriel que nous avons posé au début de cette Note.

LÉGENDE.

La fig. 12 représente en élévation l'appareil complet.

La fig. 13 est un plan et la fig. 3 une coupe verticale par l'axe.

Sur ces trois figures, les mêmes lettres indiquent les mêmes détails.

Les fig. 14 et 15 montrent à une plus grande échelle les détails du tiroir et de l'entrée de vapeur :

- RR Réservoir en tôle où se rend la vapeur au sortir de la chaudière.
- A Tuyau d'arrivée de la vapeur dans le réservoir.
- B Tubulure et tuyau conduisant la vapeur aux appareils que le tiroir doit alimenter.
- KssN Siphon rempli de mercure.
- K Cuvette intérieure contenant le flotteur.
- N Cuvette extérieure avec un évasement pour prévenir les projections accidentelles du mercure au dehors.
- M Robinet en fer ou vis pour soutirer le mercure.
- I Flotteur.

- JJJ** Lumières pratiquées dans le tuyau A qui est fermé à son extrémité et donnant passage à la vapeur.
- G** Tiroir fermant plus ou moins les lumières JJJ.
- t** Tige principale reliant le tiroir au flotteur.
- HH** Guides de la tige t.
- L** Tuyau interposé entre le réservoir et la cuvette pour prévenir la transmission de la chaleur au mercure.
- C** Soupape de sûreté.
- D** Manomètre métallique.
- E** Trou d'homme.
- F** Petite soupape ou reniflard permettant au besoin la rentrée de l'air et prévenant les effets d'écrasement de la pression atmosphérique, si le vide se faisait dans l'appareil.
- O** Tubulure et robinet pour l'extraction de l'eau.

MÉMOIRE

SUR LES PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA VAPEUR D'EAU.

Par M. H. RÉSAL, ingénieur des mines.

L'expression théorique du travail, dont on fait usage, dans les questions relatives aux machines à détente, résulte de l'hypothèse où la vapeur d'eau primitivement saturée, suivrait pendant la détente la loi de Mariotte, en conservant ainsi une température constante.

En supposant que la vapeur saturée ou dans un état voisin du point de la saturation se comportât comme un gaz permanent, ce qui n'a pas lieu, il faudrait, pour que sa température restât constante, que la quantité de chaleur qu'elle perd, ou qui se trouve transformée en travail, lui fût restituée par les parois du cylindre. Or il ne peut en être ainsi, même dans le cas des enveloppes; car la vapeur n'étant pas un bon conducteur calorifique, la vitesse du piston, lors même qu'elle atteint son minimum pratique, ne peut permettre à la chaleur émise par les parois de pénétrer bien avant dans la masse.

Les enveloppes n'ayant pour effet principal que de s'opposer au refroidissement du cylindre et d'atténuer des causes de condensation, nous devons supposer que la détente suit très-peu près la même loi que si le cylindre était formé d'une matière imperméable à la chaleur. Mais dans ces conditions, quelques expériences tendent à prouver que la vapeur en se détendant se condense partiellement et que par suite elle conserve constamment son maximum de tension, en prenant une température de plus en plus faible; c'est ce

qui a lieu en effet comme nous le reconnaitrons plus loin (*) et partant de la théorie mécanique de la chaleur qui se trouve maintenant hors de toute contestation.

Mais alors on trouve que la loi de la détente est différente de celle qu'on a admise jusqu'à présent; elle s'accorde cependant assez bien avec cette dernière pour des détenteurs qui ne dépassent pas les limites ordinaires de la pratique comme cela devait être d'après les diagrammes relevés au moyen de l'indicateur de Watt, appareil qui laisse à désirer au point de vue de la sensibilité, et qui au delà de ces limites ne donne plus d'indications admissibles. Pour des détenteurs plus grandes, les pressions diminuent plus rapidement que ne l'indique la loi de Mariotte, et deviennent bientôt du même ordre de grandeur que les résistances passives opposées par le mouvement du piston dans le cylindre : détenteurs exagérées, proposées par quelques constructeurs dont l'indicateur de Watt ne peut pas rendre compte exact. L'idée est basée uniquement sur une théorie inexacte, doit donc être rejetée, comme l'ont toujours pensé d'autres constructeurs non moins sérieux que les précédents.

Lorsque, dans des conditions convenables de lumière, on observe un jet de vapeur qui s'échappe dans l'atmosphère, on reconnaît qu'il est formé d'une partie centrale, à texture serrée, se terminant en pointe, environnée d'une autre de vapeur floconneuse dont l'importance augmente au détriment de cette partie à mesure que l'on s'éloigne de la naissance du jet. A une très-petite distance de l'orifice.

(*) A la suite de l'exposé des *Recherches expérimentales sur l'écoulement des vapeurs*, publié par M. Minary et moi dans ce recueil (t. XVIII.), j'avais cru, au moyen d'une induction que je suppose approximative, pouvoir établir que, au contraire, la vapeur en se détendant ne se condense pas. J'ai reproduit cette erreur dans mon *commentaire aux travaux publiés sur la chaleur considérée au point de vue mécanique* (t. XX), au n° 41 dont la substance ne peut dès lors s'appliquer qu'à la compression de la vapeur.

avant que l'auréole floconneuse ait pris un développement appréciable, les particules fluides paraissent animées de vitesses parallèles à l'axe du tuyau; la section qu'elles traversent alors, croît avec l'excès de la pression dans le tuyau sur la pression atmosphérique ou avec ce qu'on appelle la *pression effective*; d'abord inférieure à celle de l'origine, ce qui correspond à un minimum ou à une contraction pour une faible pression effective, la section dont il s'agit devient bientôt un maximum qui va en augmentant avec la pression. D'après le principe énoncé plus haut, le jet, dans la section des vitesses parallèles, doit se composer d'eau et de vapeur 100°, ce qui semble établir d'ailleurs la couleur blanc mat du fluide et quelques essais, au moyen de lames fusibles, que j'ai faits, il y a quelques années avec M. Minary.

En partant de là, j'ai établi une formule remarquable en ce sens que le coefficient de dépense, c'est-à-dire le rapport entre la section des vitesses parallèles et celle de l'orifice est une fonction linéaire de la pression effective pour des orifices en mince paroi, rentrant et conique; les coefficients semblables de cette fonction (*), varient entre des limites assez resserrées. Cette formule s'accordant non-seulement avec les résultats de l'expérience, mais encore avec les faits secondaires que l'on a signalés en premier lieu, semble indiquer que la théorie dont elle résulte est satisfaisante, mais comme elle est d'une application assez laborieuse, j'ai cru devoir terminer mon travail, en indiquant en vue de la remplacer, quelques formules empiriques plus simples et plus pratiques que celles que j'ai proposées il y a quelques années avec M. Minary.

*) Calculées d'après le résultat des expériences rappelées dans la page précédente.

§ 1. DE LA DÉTENTE.

1. La vapeur d'eau saturée qui se détend en produisant du travail reste constamment à son maximum de tension. Soient, à un instant quelconque de la détente :

t la température d'une masse fluide composée de vapeur d'eau,

x la poids de vapeur que contient un kilogramme de la masse.

p la pression exercée sur le piston.

ρ la poids spécifique de la vapeur saturée à t .

Soient de plus :

$\alpha = 0,00367$ le coefficient de dilatation des gaz

$A = 425^{\text{kg}}$ l'équivalent mécanique de la chaleur

$c = 1 + \frac{4}{10^4}t + \frac{9}{10^5}t^2$ la chaleur spécifique de l'eau.

$r = 606,5 - 0,695t - \frac{2}{10^4}t^2 - \frac{3}{10^5}t^3$ la chaleur latente de volatilisation correspondante.

Nous rappellerons que la chaleur totale de la vapeur saturée à t a pour expression :

$$606,5 + 0,305t = r + \int_0^t c dt.$$

La chaleur totale d'un kilogramme de la masse fluide considérée est :

$$x(606,5 + 0,305t) + (1-x) \int_0^t c dt = rx + \int_0^t c dt$$

et son accroissement infiniment petit, correspondant à un accroissement dt de la température

$$r dx + x dr + c dt.$$

Cette quantité augmentée du quotient par A , du r

élémentaire de la pression due à la modification de volume prouvée par la masse doit donner un résultat nul. Or, comme le volume occupé par l'eau est très-petit par rapport celui de la vapeur, on peut sans erreur sensible admettre que ce travail a pour expression :

$$p d \frac{1}{\rho} \approx d \frac{p}{\rho} \approx \frac{1}{\rho} dp,$$

vient donc

$$(1) \quad \frac{r dx}{dt} + \frac{x dr}{dt} + c = - \frac{1}{A} \left(\frac{d \frac{p}{\rho}}{dt} - \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} \right)$$

Mais en négligeant, devant l'unité, le rapport très-petit de densité de la vapeur à celle de l'eau, et désignant par m, n trois constantes on a (*)

$$(a) \quad \begin{cases} \frac{1}{A} \frac{p}{\rho} \approx (m - nk') (1 + at), \\ \frac{1}{A} \frac{1}{\rho} \frac{dp}{dt} \approx \frac{ar}{1 + at}, \end{cases}$$

et suite :

$$\frac{dx}{dt} + \frac{x dr}{dt} + c = (1 + at) nk' \log. \text{hyp } k - (m - nk') \alpha + \frac{ar}{1 + at},$$

d'où

$$) = \frac{dx}{dt} \frac{\frac{dr}{dt}}{r} = \frac{c - m\alpha + nk' [\alpha + (1 + at) \log. \text{hyp } k]}{r} + \frac{\alpha}{1 + at}.$$

Pour que la vapeur se condense à mesure que la détente augmente, il faut que x décroisse en même temps

*) Voyez mon commentaire aux travaux publiés :
IX, des *Annales des Mines*, 1861.

que la dérivée précédente soit positive, et c'est ce qu'il fa
vérifier. Or on a :

$$m = 31,549, \quad n = 1,0486, \quad k = 1,007161.$$

et si l'on pose

$$M = \frac{-0,4208 + [0,0385 + 0,00325(1 + \alpha)] P}{r},$$

$$N = \frac{0,695}{r},$$

et que l'on désigne par y le poids d'eau $1 - x$ que renz
la masse, l'équation (2) devient :

$$(3) \quad \frac{dx}{dt} = - \frac{dy}{dt} = M - Ny.$$

Le tableau suivant fait connaître les valeurs de M et
pour les températures comprises entre 162° et 44° , la
que l'on franchit rarement dans les applications.

TABLEAU A.

M	t	N	t
	degrés.		degrés.
0,0015	162 à 158	0,0014	102 à 116
0,0016	156 à 152	0,0015	114 à 102
0,0017	150 à 142	0,0016	100 à 90
0,0018	146 à 96	0,0017	58 à 44
0,0019	84 à 72		
0,0020	70 à 50		
0,0021	52 à 46		
0,0022	46 à 44		

Il est évident que pour les valeurs de t comprises da
tableau ou pour les pressions correspondantes de la va

saturée, $\frac{dx}{dt}$ sera positif, puisque y étant nul à l'origine de la détente sera toujours une petite fraction dans les limites au-dessus de la température, le coefficient N sera bien représenté par la formule,

$$(4) \quad N = \frac{-0,0485t + 23,3}{10000},$$

et les différences entre les valeurs que l'on en déduit et celles du tableau précédent sont :

+ 0,00003.	pour $t = 163$
— 0,00003.	= 156
— 0,00002.	= 152
0,00000.	= 110
+ 0,00002.	= 84
— 0,00001.	= 70
— 0,00002.	= 52
+ 0,00002.	= 44

l'erreur relative que comporte la formule (4) n'atteint ainsi que 1/50 au plus.

Le coefficient N variant très-lentement avec la température pourra être considéré comme constant et égal à 0,0015.

L'erreur commise sera d'autant plus petite que y sera lui-même petit. On voit ainsi que le terme en Ny ne pourra avoir d'influence sur la valeur de $\frac{dy}{dt}$ que si y atteint 1/16, ce

qui suppose déjà une détente considérable.

Ayant égard à ce qui précède, l'équation (3) devient :

$$(5) \quad \frac{dy}{dt} - 0,0015y + \frac{23,3 - 0,0485t}{10000} = 0,$$

en appelant t , la température correspondant à l'instant où la détente commence et pour lequel y est nul, on trouve en intégrant, e étant la base du système de logarithmes népériens :

$$(6) \quad y = (3,3686 + 0,003233t_0) e^{-0,0015(t_0 - t)} - 3,3686 - 0,003233t.$$

Mais au lieu d'appliquer cette équation, il sera plus commode de former une table qui pourra servir à la fois pour un certain nombre de cas particuliers, en employant la formule

$$(7) \quad \delta y = (-M + Ny) \delta t.$$

dans laquelle δy représente la variation de y correspondante à celle δt , supposée suffisamment petite, de la température.

En prenant $\delta t = -2^\circ$, et supposant que la vapeur commence à se détendre à la pression de 4^{mm} 971, à la température de 152°, on a formé le tableau suivant, dans lequel le symbole Σ a la signification ordinaire de la somme.

TABLEAU B.

t	δy	$y = \Sigma \delta y$	t	δy	$y = \Sigma \delta y$	t	δy	$y = \Sigma \delta y$
degrés.			degrés.			degrés.		
152	0	0	116	0,0033	0,0033	80	0,0033	0,0033
150	0,0032	0,0032	114	0,0032	0,0065	78	0,0033	0,0098
148	0,0032	0,0064	112	0,0032	0,0097	76	0,0033	0,0131
146	0,0032	0,0096	110	0,0034	0,0131	74	0,0033	0,0164
144	0,0032	0,0128	108	0,0034	0,0165	72	0,0033	0,0197
142	0,0032	0,0160	106	0,0034	0,0199	70	0,0033	0,0230
140	0,0031	0,0191	104	0,0034	0,0233	68	0,0033	0,0263
138	0,0031	0,0222	102	0,0034	0,0267	66	0,0033	0,0296
136	0,0031	0,0253	100	0,0034	0,0301	64	0,0033	0,0329
134	0,0031	0,0284	98	0,0034	0,0335	62	0,0033	0,0362
132	0,0031	0,0315	96	0,0034	0,0369	60	0,0033	0,0395
130	0,0031	0,0346	94	0,0034	0,0403	58	0,0033	0,0428
128	0,0032	0,0379	92	0,0033	0,0437	56	0,0033	0,0461
126	0,0032	0,0412	90	0,0033	0,0471	54	0,0033	0,0494
124	0,0032	0,0445	88	0,0033	0,0505	52	0,0033	0,0527
122	0,0032	0,0478	86	0,0033	0,0539	50	0,0033	0,0560
120	0,0032	0,0511	84	0,0033	0,0573	48	0,0033	0,0593
118	0,0032	0,0544	82	0,0033	0,0607	46	0,0033	0,0626
116			80			44		

Ce tableau permet notablement de voir que si de la vapeur saturée à 5 atmosphères se détend jusqu'au point où sa pression est réduite à un dixième d'atmosphère, il s'est condensé environ un cinquième de son poids.

2. *Relation entre le chiffre de la détente et la température.* — Soient :

V le volume total de la masse d'eau et de vapeur en un point quelconque de la détente ;

Q son poids ;

ω le poids spécifique de l'eau dont nous négligeons la variation avec la température.

Conservons d'ailleurs les notations qui précèdent. Le volume occupé par la vapeur étant $V - \frac{yQ}{\omega}$ on a :

$$\left(V - \frac{yQ}{\omega}\right) \rho + yQ = Q,$$

où

$$Q = \frac{V\rho}{1-y}.$$

Si l'on désigne par l'indice 0 les quantités qui se rapportent à un instant déterminé de la détente on a :

$$\frac{V\rho}{1-y} = \frac{V_0\rho_0}{1-y_0},$$

en posant

$$(8) \quad \frac{V}{V_0} = 1+h,$$

obtient la relation

$$1+h = \frac{\rho_0(1-y_0)}{\rho(1-y)};$$

mais (*)

$$(9) \quad \frac{\rho_0}{\rho} = \frac{1+\alpha t_0}{1+\alpha t} \cdot \frac{r}{r_0} \frac{\left(\frac{dp}{dt}\right)_0}{\frac{dp}{dt}}.$$

*) *Annales des Mines*, t. XX, p. 358.

par suite :

$$(10) \quad h = \frac{1 + \alpha t_0}{1 + \alpha t} \frac{r}{r_0} \cdot \frac{1 - y_0}{1 - y} \frac{\left(\frac{dp}{dt}\right)_0}{\frac{dp}{dt}} - 1.$$

Si l'on substitue dans cette expression les valeurs de y, y_0 données par l'équation (6), celles de r, r_0 en fonction de la température, en ayant égard à la formule d'interpolation

$$\log p = a - b\beta t + 20 - c\gamma t + 20.$$

dont les coefficients ont été déterminés par M. Regnaud, pourra calculer h pour telle valeur que l'on voudra. Mais comme c'est précisément l'inverse que nous essayons d'obtenir, et que l'équation (10) est transcendante, il vaut mieux opérer autrement, et calculer h de proche en proche pour des valeurs successives et suffisamment rapprochées de t ; on obtiendra ainsi une table qui donnera moins approximativement t pour chaque valeur de h .

En posant :

$$t = t_0 + \delta t, \quad y = y_0 + \delta y, \quad r = r_0 + \delta r,$$

et négligeant le carré des accroissements δ , on aura, après avoir supprimé les indices qui deviennent maintenant superflus,

$$\delta h = -\frac{\alpha \delta t}{1 + \alpha t} + \frac{\delta r}{r} + \frac{\delta y}{1 - y} - \frac{\frac{d^2 p}{dt^2}}{\frac{dp}{dt}} \delta t;$$

par suite en ayant égard à la valeur de r , et à la formule

$$(10) \delta h = -\left\{ \frac{\alpha}{1 + \alpha t} + \frac{0,695 + \frac{4}{10^3} t + \frac{9}{10^5} t^2}{r} + \frac{M - Ny}{1 - y} + \frac{\frac{d^2 p}{dt^2}}{\frac{dp}{dt}} \right\} \delta t$$

Dans la question qui nous occupe on peut négliger les quantités My^2 , Ny^2 , $(M-N)y$ qui sont très-petites par rapport à M ; de sorte que si l'on pose

$$D = \frac{\alpha}{1 + \alpha t} + \frac{0,695 + \frac{4}{10^4}t + \frac{9}{10^7}t^2}{r} + M + \frac{\frac{d^2p}{dt^2}}{\frac{dp}{dt}}$$

on aura

$$(12) \quad \delta h = - D \delta t.$$

Nous avons pris pour les valeurs de $\frac{dp}{dt}$, $\frac{d^2p}{dt^2}$, celles des différences premières et secondes des pressions de la vapeur saturée données par les tables de M. Regnault pour des températures croissantes de 1° ; et c'est ainsi que nous avons pu calculer les valeurs suivantes de D .

D	t	D	t
	degrés.		degrés.
0,04	102 à 150	0,07	96 à 70
0,05	156 à 120	0,08	74 à 58
0,06	124 à 98	0,09	56 à 44

3° *Tableau des détentees pour les pressions les plus usuelles.* — Nous rappellerons que le degré de la détente se mesure ordinairement par la valeur numérique de $1 + h$ comptée à partir du moment où y est nul.

Dans la formation des tableaux suivants, nous avons fait croître successivement h de 0,5, et pour calculer δt nous avons, par suite, employé la formule

$$\delta t = - \frac{0,5}{D}.$$

En regard de chaque tableau nous en avons placé un autre indiquant les éléments de la détente calculés d'après l'ancienne théorie basée sur la loi de Mariotte et dans laquelle pour éviter toute confusion nous avons représenté la pression par p' .

Les pressions p et p' sont exprimées en centimètres de mercure, et à leur travail en kilogrammètres, nous avons substitué son quotient par $\frac{10\,333\,V}{0.76}$ qui représente l'aire

de la courbe ayant h pour abscisse et p ou p' pour ordonnée. La méthode de quadrature que nous avons employée est celle de M. Poncelet modifiée par M. Parmentier.

Une autre colonne donne le rapport de la pression p_0 à p qui nous sera utile plus loin.

PRESSION initiale en atmosphères.	Élémente $x + A$	$- \delta t$	t	p	Travail de p	$\frac{p_0}{p}$	p'	Travail de p'	$\frac{\text{Trav. } p}{\text{Trav. } p'}$
4	1,0	9,00	159,25	456,00			456,0		
	1,5	10,00	149,25	351,00		1,40	304,0		
	2,0	10,00	139,25	266,00		1,71	208,0		
	2,5	10,00	129,25	198,50		2,30	152,5		
	3,0	8,33	120,92	153,00		2,88	152,0		
	3,5	8,33	112,59	117,10		3,88	100,3		
	4,0	8,33	104,26	88,50	672,7	5,15	114,0	626,4	1,00
	4,5	8,33	95,93	65,70		6,09	101,3		
	5,0	7,14	88,79	49,90		9,11	91,2		
	5,5	7,14	81,65	37,90		12,00	82,9		
	6,0	7,14	74,51	28,30	718,0	15,36	76,0	818,0	0,95
	6,5	6,25	68,26	21,60		20,73	70,2		
	7,0	6,25	62,01	16,31		28,50	65,1		
	7,5	6,25	55,76	12,30		37,07	60,3		
	8,0	5,56	50,20	9,30	812,4	50,67	57,0	944,5	0,86
	8,5	5,56	44,64	7,00		65,14	53,8		
5	1,0	9,00	152,80	360,00			360,0		
	1,5	10,00	142,80	292,50		1,36	262,5		
	2,0	10,00	132,80	225,00		1,72	190,0		
	2,5	10,00	122,80	162,86		2,33	152,0		
	3,0	8,33	114,47	124,80		3,04	126,7		
	3,5	8,33	106,14	94,20		4,04	108,0		
	4,0	8,33	97,81	64,20	555,0	5,93	95,0	532,8	1,04
	4,5	7,14	90,67	53,70		7,04	81,4		
	5,0	7,14	83,53	46,90		9,27	76,0		
	5,5	7,14	76,39	40,60		12,26	69,1		
	6,0	6,25	70,14	32,40	641,6	16,52	68,3	677,4	0,95
	6,5	6,25	63,89	27,00		21,11	63,1		
	7,0	6,25	57,67	23,10		28,23	54,3		
	7,5	5,56	52,11	19,20		37,27	50,1		
	8,0	5,56	46,35	17,70	671,4	49,37	47,5	786,2	0,85
6	1,0	9,00	144,00	360,00			360,0		
	1,5	10,00	134,00	292,50		1,34	282,5		
	2,0	10,00	124,00	225,00		1,79	152,0		
	2,5	8,33	115,67	170,00		2,34	121,6		
	3,0	8,33	107,34	128,10		3,10	101,3		
	3,5	8,33	99,01	93,40		4,16	86,9		
	4,0	7,14	91,67	66,50	437,0	6,38	76,0	418,6	1,05

PRESSION initiale en atmosphères.	Détente $1 + h$	$- \delta t$	t	P	Travail de p	$\frac{p_0}{p}$	p'	Travail de p'	Tr. p Tr. p'
1	4,5	7,14	84,72	43,90		6,91	67,5		
	5,0	7,14	77,59	32,60		9,21	55,3		
	5,5	6,25	71,34	24,80		12,16	50,7	502,5	45
	6,0	6,25	65,09	18,80	506,0	16,00	46,8		
	6,5	6,25	58,84	14,00		21,71	43,4		
	7,0	5,56	53,28	10,20		28,15	40,0		
	7,5	5,56	47,72	8,20		37,17	38,0	628,3	15
	8,0	5,56	42,16	6,20	633,3	49,83	35,0		
	1,0		134,00	228,00			228,6		
	1,5	10,00	124,00	169,10		1,35	152,4		
	2,0	8,33	115,67	120,80		1,76	114,3		
	2,5	8,33	107,34	98,10		2,32	91,2		
	3,0	8,33	99,01	78,40		3,12	76,2		
	3,5	7,14	92,87	58,70		4,00	65,2		
	4,0	7,14	86,72	44,80	338,0	5,07	57,1	314,6	1
2	4,5	7,14	78,59	33,60		8,71	50,8		
	5,0	6,25	72,34	26,80		11,64	46,2		
	5,5	6,25	66,09	19,80		15,51	38,1	406,5	12
	6,0	6,25	59,84	14,70	383,7	20,47	35,1		
	6,5	5,56	54,28	11,30		26,51	32,6		
	7,0	5,56	48,72	8,80		35,08	30,5		
	7,5	5,56	43,16	6,80		47,50	28,5	471,6	45
	8,0	5,56	37,60	4,80	401,7				
	1,0		120,00	152,00			152,1		
	1,5	8,33	111,67	113,50		1,34	99,4		
	2,0	8,33	93,34	88,40		2,36	74,5		
	2,5	7,14	86,20	68,40		3,34	59,7		
	3,0	7,14	79,06	51,10		4,90	49,4		
	3,5	7,14	71,92	38,30		6,01	42,6		
	4,0	6,25	65,67	28,20	186,7	7,92	37,3	267,4	6
	4,5	6,25	59,42	20,40		10,55	33,1		
3	5,0	5,56	53,86	14,20		13,57	29,8		
	5,5	5,56	48,30	10,50		17,88	27,1		
	6,0	5,56	42,74	8,30	209,6	24,12	24,9	365,3	4
	6,5	5,56	37,18	6,70		32,32	22,8		

Ces tableaux nous ont servi à tracer les courbes en t

pleins de la Pl. V, ayant $1 + h$ pour abscisse en prenant 20 millimètres pour unité, et pour ordonnée p , en représentant les centimètres de mercure par des millimètres; chaque courbe porte comme indication le chiffre de la pression initiale en atmosphères, suivie de la lettre d . La courbe pointillée correspondante, indiquée par le même chiffre suivi de la lettre m , est celle qui résulte de la loi de Mariotte.

Chacune des courbes d est d'abord un peu supérieure à la courbe m correspondante, mais à partir de son point de rencontre avec cette dernière, elle descend très-rapidement au-dessous et l'on voit par exemple que pour une pression initiale de six atmosphères et la détente 8,5, la pression finale d'après nos calculs ne serait que 7 centig. de mercure, tandis que, d'après la loi de Mariotte elle serait encore de 54 centig.. On voit de plus qu'au delà de la détente 7 il n'y a plus grand chose à gagner.

Les deux méthodes donnent sensiblement le même travail jusqu'à la détente 5 lorsque la pression initiale est comprise inclusivement entre 3 et 6 atmosphères, et jusqu'à la détente 1,5, lorsque la pression initiale n'est que de 2 atmosphères.

4. *Formules d'interpolation.*—1° *Pression initiale égale à 6, 5, 4 atmosphères.* — Si l'on se reporte aux trois premiers tableaux du numéro précédent, on remarque que pour chaque valeur de h , le rapport $\frac{p_0}{p}$ reste sensiblement le même, que la pression initiale soit de 6, de 5, ou de 4 atmosphères; on reconnaît de plus que le quotient de deux différences premières consécutives de ce rapport, ne varie qu'entre des limites très-restreintes. Nous avons été ainsi conduit à employer pour les valeurs ci-dessus de la pression initiale la formule d'interpolation

$$\frac{p_0}{p} = 1.75^h,$$

au moyen de laquelle nous avons formé le tableau suivant.

$1+h$	$\frac{P_0}{P}$	$1+h$	$\frac{P_0}{P}$	$1+h$	$\frac{P_0}{P}$	$1+h$	$\frac{P_0}{P}$
1,5	1,32	3,5	4,06	6,5	25,46	9,5	100
2,0	1,75	4,0	5,36	7,0	36,00	10,0	125
2,5	2,31	4,5	7,09	7,5	51,75	11,0	166
3,0	3,07	5,0	10,00	8,0	72,00	12,0	216

L'accord entre les valeurs de $\frac{P_0}{P}$ données par ce tableau et celles des trois premières parties du tableau du tome précédent est très-satisfaisant, surtout si l'on a égard à la nature complexe de la question qui nous occupe.

Si nous représentons par P et P_0 les pressions p exprimées en kilogrammes par mètre carré de surface, gagnant toujours le volume de la vapeur au moment où la détente commence, on a

$$\frac{P}{P_0} = \frac{P}{P_0}$$

et

$$(13) \quad P = \frac{P_0}{1,75^h}$$

par suite pour le travail développé par la détente, en kilogrammètres,

$$\text{Trav.} = V_0 P_0 \int_0^h \frac{dh}{1,75^h} = \frac{V_0 P_0}{\log. \text{hyp. } 1,75} \left(1 - \frac{1}{1,75^h} \right)$$

ou

$$(14) \quad \text{Trav.} = 1,787 V_0 P_0 \left(1 - \frac{1}{1,75^h} \right)$$

ou enfin en représentant par N la pression P_0 estimée en atmosphères.

$$(15) \quad \text{Trav.} = 18464 NV_0 \left(1 - \frac{1}{1,75^h} \right)$$

Cette expression a ainsi une limite correspondant à $h = \infty$, qui a pour valeur :

$$1.787 V_0 P_0 = 18464 N V_0,$$

et dont on n'est pas très-éloigné d'atteindre la valeur numérique pour une détente de 8 ou 9, comme on peut en juger en se reportant au numéro précédent.

La formule logarithmique connue, basée sur la loi de Mariotte, ne donne pas de limite pour ce travail qui deviendrait infini avec h , ce qui a priori semble peu satisfaisant.

2° *Pression initiale de 3 atmosphères.* — Dans ce cas nous avons été conduit à poser :

$$\frac{P_0}{p} = 1.74^h,$$

et le tableau suivant calculé au moyen de cette formule s'accorde d'une manière très-satisfaisante avec la 3° partie du tableau du numéro précédent :

$1 + h$	$\frac{P_0}{p}$	$1 + h$	$\frac{P_0}{p}$	$1 + h$	$\frac{P_0}{p}$
1,5	1,32	4,5	5,27	6,5	21,64
2,0	1,74	4,5	6,05	7,0	27,76
2,5	2,20	5,0	9,17	7,5	36,61
3,0	3,03	5,5	12,00	8,0	48,39
3,5	3,99	6,0	15,86	"	"

Ainsi nous écrirons :

$$3') \quad P = \frac{P_0}{1.74^h}$$

où par le travail développé par la détente

$$4') \quad \text{Trav.} = 1.805 V_0 P_0 \left(1 - \frac{1}{1.74^h} \right).$$

ou

$$(15') \quad \text{Trav.} = 1,8651 NV^0 \left(1 - \frac{1}{1,74^k}\right).$$

Ces deux dernières formules donnent lieu aux mêmes observations que les formules (14) et (15).

3° *Pression initiale de 2 atmosphères.* — Dans ce cas l'exponentielle ne suffit plus pour donner une formule d'interpolation suffisamment exacte et nous avons dû employer la suivante :

$$(13'') \quad \frac{p_0}{p} = \frac{P_0}{P} = 1,90^k + 0,71 - 1,50k \left(1 - \frac{k}{5}\right)$$

au moyen de laquelle nous avons calculé le tableau suivant :

$1+k$	$\frac{p_0}{p}$	$1+k$	$\frac{p_0}{p}$	$1+k$	$\frac{p_0}{p}$	$1+k$	
1,5	1,34	3,0	4,77	4,5	10,30	6,0	25
2,0	2,39	3,5	6,14	5,0	13,54	6,5	23
2,5	3,48	4,0	7,85	5,5	17,92	.	.

dont les éléments diffèrent peu des éléments semblables ceux de la dernière partie du tableau du numéro précédent.

Quant au travail dû à la détente, il se calculera au moyen de la formule :

$$\text{Trav.} = P_0 V_0 \int_0^k \frac{dh}{1,90^k + 0,71 - 1,50k \left(1 - \frac{k}{5}\right)}$$

dont on ne peut obtenir la valeur qu'en appliquant la méthode de quadrature par approximation.

§ 2. ESSAI SUR LA THÉORIE DE L'ÉCOULEMENT DES VAPEURS.

Supposons que de la vapeur s'échappant d'une chaudière dans l'atmosphère au moyen d'un tuyau, se meuve par tranches normales à l'axe de ce tuyau et que son mouvement soit devenu permanent.

Soient (fig. 2, Pl. V.)

$ab\ a'b'$ l'une de ces tranches ;

m sa masse ;

dx son épaisseur infiniment petite, x étant la longueur de l'axe du tuyau à partir d'un point déterminé ;

ω la section de la tranche ;

p la pression par unité de surface sur sa face d'amont aa' ;

$p + \frac{dp}{dx} dx$ la pression exercée sur l'autre face ;

v la vitesse de la tranche ;

On a, en désignant le temps par t ,

$$m \frac{dv}{dt} = - \omega \frac{dp}{dx} dx.$$

différence des pressions sur les deux faces aa' , bb' ayant pour effet de produire le mouvement lorsque la tranche passe d'une position à la suivante, la pression p va diminuant, d'où résulte une détente donnant lieu à une condensation partielle.

On a posé soient :

la température actuelle de la tranche ;

le poids, par kilogramme, de la vapeur qui s'est condensée depuis le moment où la détente a commencé et où la température était θ_0 ;

TOME VIII, 1865.

32

ρ le poids spécifique de la vapeur saturée correspondant à la température θ .

g l'accélération de la pesanteur.

Le volume de la tranchée étant ωdx , on voit facilement que

$$m = \frac{\rho \omega dx}{(1 - y)}$$

d'où

$$\frac{dv}{dt} = -\frac{g}{\rho}(1 - y)\frac{dp}{dx} = -\frac{g}{\rho}(1 - y)\frac{dp}{dt} \cdot \frac{dt}{dx}$$

et comme $\frac{dx}{dt} = v$, il vient :

$$(1) \quad v \frac{dv}{g} = -(1 - y) \frac{dp}{\rho}$$

équation dans laquelle on devra substituer d'abord la

$$(2) \quad \frac{dp}{\theta} = \frac{h \alpha d\theta}{1 + d\theta}$$

d'après le numéro 1 du § précédent dont nous conservons les notations, à part la température qui, au lieu d'être représentée par t , l'est maintenant par θ .

Pour calculer y nous remarquerons d'après ce qui précède que de 162° , température correspondant à 6 atmosphères à 100° température de la vapeur à son arrivée dans l'atmosphère, M dans la formule

$$\frac{dM}{d\theta} = -M + Ny$$

ne varie que de 0,0015 à 0,0018, de sorte que l'on peut considérer M comme constant et égal à 0,0016; et N est lui-même sensiblement constant et égal à 0,0015 en descendant de la vapeur de 154° à 100° , nous avons trouvé que y n'était que 0,00845, Ny peut être négligé.

vant M , et l'on peut prendre tout simplement

$$y = -0,0016(\theta - \theta_0).$$

Si l'on pose

$$v = u\sqrt{606,5Ag}$$

l'équation (1), en vertu des valeurs (2) et (3) devient

$$-u du = (1,0016\theta_0) \frac{a d\theta}{1 + a\theta} - \left(0,0027 + \frac{16}{10^7} \theta_0\right) a\theta \frac{d\theta}{1 + a\theta} + \frac{16}{10^7} a\theta \frac{d\theta}{1 + a\theta}$$

à par l'intégration et en effectuant ensuite les calculs numériques.

$$\left(\frac{u^2 - u_0^2}{2}\right) - (1,032 + 0,002\theta_0) \log\left(\frac{1 + a\theta}{1 + a\theta_0}\right) - \left(0,0031 + \frac{16}{10^7} \theta_0\right) (\theta - \theta_0) + \frac{16}{10^7} \left(\frac{\theta^2 - \theta_0^2}{2}\right)$$

soient maintenant :

1° le débit en kilogrammes par seconde ;

2° la section de l'orifice ;

3° le rapport à cette section de celle de la gerbe, pour laquelle toutes les vitesses sont parallèles ;

4° la température de la vapeur saturée correspondant à la pression p , du milieu dans lequel s'écoule la vapeur ;

5° et ρ_1 les valeurs de y et de ρ qui, se rapportant à la pression $\mu\omega_1$;

6° et ρ_0 celles qui sont relatives à la température θ_0 et la pression ω_0 .

7° densité moyenne en un point quelconque du courant de vapeur étant $\rho(1 + y)$, on a

$$= \mu\omega_0 \rho_1 (1 + y) \sqrt{606,5Ag} = \omega_0 50 (1 + y_0) \sqrt{606,5Ag}$$

8° d'après l'équation (6) et en effectuant les calculs,

$$\rho_1 (1 + y_1) \sqrt{\frac{(1,032 + 0,002\theta_0) \log\left(\frac{1 + a\theta_1}{1 + a\theta_0}\right) - \left(0,0031 + \frac{16\theta_0}{10^7}\right) (\theta_1 - \theta_0) - \frac{8}{10^7} (\theta_1^2 - \theta_0^2)}{1 - \mu^2 \frac{\omega_1^2 \rho_1^2 (1 + y_1)^2}{\omega_0^2 \rho_0^2 (1 + y_0)^2}}}$$

6. *Comparaison avec l'expérience.* — Dans les expériences que nous avons faites, M. Minary et moi, et dont les résultats ont été consignés au T. XVIII des *Annales des Mines*, nous avons mesuré le poids de la vapeur dépensée au bout de 20 minutes, de sorte que si Q représente maintenant le poids, la formule précédente devra être multipliée par 1200''; elle peut d'ailleurs se simplifier en remarquant que la pression p_0 a été mesurée dans le tuyau, près de l'orifice, dans une section de 15 millimètres de diamètre, tandis que l'orifice n'avait que 4 millimètres au plus, et que d'ailleurs $\frac{p_1}{p_0}$ est une fraction, nous aurons avec une approximation

$$(8) \quad Q = 2243.6 \mu \omega_1 p_1 (1 + \gamma_1) \times 1200 \sqrt{(1.859 \times 0.00280) \log \frac{(1 + \alpha \theta_0)}{1 + \alpha \theta_1} - \left(0.0031 + \frac{16}{10^{10}}\right)}$$

Pour obtenir la valeur numérique en poids spécifiques la vapeur saturée à différentes températures, nous avons fait usage de la formule

$$p = \frac{p}{A(1 + \alpha t)(m - nk^0)}$$

dont nous nous sommes déjà servi au n° 1, ou plutôt la suivante

$$(9) \quad p = \frac{0.52p}{(1 + \alpha \theta)(m - k^0)}$$

dans laquelle p représente maintenant la pression en mètres de mercure et qui nous a permis de former le tableau suivant

θ	p	θ	p
100	0.605	92	0.460
98	0.565	90	0.427
96	0.528	88	0.396
94	0.493	•	•

Pour les valeurs intermédiaires de θ , ρ se calculera par la méthode des différences proportionnelles.

Les valeurs de y ont été calculées au moyen de l'équation (3).

Dans les tableaux suivants qui résultent de l'application de la formule (8), Q et p_0, p_1 , par suite θ_0 et θ_1 , sont des données de l'expérience, et μ est l'inconnu dont nous nous proposons de trouver les différentes valeurs.

Orifice circulaire en mince paroi de 4 millimètres de diamètre.

Atmo- sphères.	P		θ_0	θ_1	$p_1(1+y_1)$	Q	μ
	Centim. de mercure.	p_1 Centim. de mercure.					
1,38	105,8	72,3	100,40	99,0	0,594	2,650	0,79
1,95	146,2	72,6	119,20	99,0	0,604	4,360	0,93
2,51	190,8	62,0	128,00	94,5	0,520	5,500	1,10
3,04	231,0	56,5	134,25	92,0	0,491	6,817	1,24
3,60	273,6	55,0	140,25	91,0	0,478	7,800	1,41
4,20	319,2	51,0	146,20	89,5	0,465	9,067	1,56
4,79	364,0	49,0	150,50	88,0	0,438	10,200	1,72
5,37	408,1	47,0	155,00	7,0	0,434	11,233	1,87

Les valeurs ci-dessus de μ , s'écartent très-peu des valeurs correspondantes que l'on déduit de la formule :

$$\mu = 0,68 + 0,0033(p_0 - p_1)$$

ns laquelle les pressions p_0 et p_1 sont exprimées en centimètres de mercure, si l'on représente par n_0 et n_1 les mêmes pressions en atmosphères, cette formule conduit à la suivante :

$$\mu = 0,68 + 0,251(n_0 - n_1).$$

Orifice circulaire rentrant de 4 millimètres de diamètre.

p_0		p_1	θ_0	θ_1	$p_1(r+y_1)$	Q	
Atmo- sphère.	Centim. de mercure.	Centim. de mercure.					
1,39	105,6	73,5	108,46	89,0	0,394	2,50	15
1,95	148,2	69,3	119,20	99,0	0,694	4,125	14
2,51	190,8	67,5	129,00	96,7	0,549	5,20	14
3,04	231,0	69,0	134,25	97,4	0,582	6,00	14
3,60	273,6	65,0	140,25	95,7	0,561	7,750	14
4,20	319,2	62,5	146,25	94,7	0,576	8,00	14
4,79	366,0	59,5	150,00	93,5	0,720	9,700	14
5,37	408,1	54,0	155,00	90,7	0,463	10,00	14

d'où l'on déduit la formule d'interpolation :

$$(10) \quad \mu = 0,63 + 0,0022(p_0 - p_1).$$

Orifice conique de 3^{me},5 de diamètre et de 42 millimètres de hauteur.

p_0		p_1	θ_0	θ_1	$p_1(r+y_1)$	Q	
Atmo- sphère.	Centim. de mercure.	Centim. de mercure.					
1,39	105,6	73,5	108,46	89,0	0,394	2,50	15
1,95	148,2	69,0	119,20	97,4	0,572	3,65	14
2,51	190,8	65,0	129,00	96,7	0,460	4,00	14
3,04	231,0	62,5	134,25	91,7	0,517	5,00	14
3,60	273,6	56,0	140,25	91,7	0,478	6,50	14
4,20	319,2	54,0	146,25	89,7	0,476	7,50	14
4,79	366,0	51,0	150,00	89,5	0,460	8,00	14
5,37	408,1	51,0	155,00	89,5	0,463	9,315	14

La formule

$$(11) \quad \mu = 0,67 + 0,003(p_0 - p_1)$$

ne donne quelques différences sensibles avec les valeurs du tableau précédent que pour les faibles valeurs de p_0 , relativement auxquelles le mode d'expérimentation adopté laisse quelque incertitude sur la mesure de p_1 , ce qui peut avoir une influence sensible dans l'application de la formule (8).

7. — *Formules empiriques pour l'écoulement des vapeurs dans l'atmosphère.* — En continuant les notations du numéro précédent, on a, dans ce cas, $n_1 = 1$, $\theta_1 = 100^\circ$, et pour de petits orifices comparativement à la section du tuyau, j'ai été conduit à substituer la formule :

$$12) \quad Q = \omega_1 \sqrt{\frac{10333(n_0 - 1)\rho_0 g}{\varphi}}$$

la formule (7) qui est d'une application assez longue, φ étant une fonction de n_0 qui varie d'une forme d'orifice à une autre, 10333 kilogrammes étant comme on le sait la pression d'un atmosphère sur un mètre carré.

J'ai comparé cette formule aux résultats des expériences citées plus haut, réduits au cas où l'écoulement aurait lieu dans l'atmosphère, au moyen des formules d'interpolation que nous avons proposées, M. Minary et moi, et je suis arrivé aux résultats suivants :

1° *Orifice en mince paroi.* — En prenant :

$$\varphi = 2,370 \log n_0 + 0,904$$

la formule (12) donne la dépense avec une approximation de 1/310 au moins.

2° *Orifice conique.* — Si l'on pose :

$$\varphi = 2,30 \log n_0 + 0,591$$

la formule (11) comporte une approximation qui est de 1/50

500 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES DE LA VAPEUR.

pour deux des pressions étudiées et comprise entre $1/64$ et $1/200$ pour toutes les autres.

3° *Orifice rentrant.* — Dans ce cas en supposant :

$$\varphi = 0,340 n_p + 1,00$$

on obtient Q avec une approximation de $1/76$ au moins.

NOTE

SUR LA RÉPARTITION DE LA CHARGE DES VÉHICULES DES CHEMINS DE FER SUR LEURS ESSIEUX.

Par M. G. DAMAS, ancien élève des Écoles polytechnique et des mines,
sous-chef de traction aux chemins de fer du Midi.

Les véhicules sont généralement suspendus sur leurs essieux par l'intermédiaire de ressorts.

Ces ressorts sont établis dans des conditions diverses qui influent sur la répartition de la charge.

Nous distinguerons dans ce qui va suivre :

Les ressorts indépendants et les ressorts conjugués.

Les véhicules reposent généralement sur chacun de leurs essieux en deux points symétriques par rapport à l'axe longitudinal.

Avant d'étudier la répartition de la charge dans ces conditions pratiques, nous examinerons le cas presque uniquement théorique où les deux points de support d'un même essieu sont confondus en un seul, ce qui revient à proposer le véhicule réduit à son axe.

Nous établirons dans cette hypothèse, et en considérant successivement les deux systèmes de ressorts énumérés ci-dessus, les conditions d'équilibre d'un véhicule supporté par deux, trois et quatre essieux.

Ressorts indépendants. — Nous désignons sous le nom de ressort indépendant, un ressort libre de pivoter autour son point d'appui sur l'essieu, et dont les tiges de suspension sont attachées en des points fixes sur le châssis. Il serait intéressant d'examiner ce qui se passe dans un

pareil système lorsqu'on agit sur une seule des tiges de suspension, BS par exemple (Pl. III, fig. 1).

On pourrait déterminer dans ce cas les positions qui affectent le ressort et les tiges de suspension, les tensions de ces tiges et les réactions aux trois points O, T, S. Mais les résultats obtenus ainsi n'auraient pas d'application dans la pratique; car en réalité on agit simultanément sur les deux tiges de suspension pour maintenir l'horizontalité du ressort. C'est ce que nous supposons toujours réalisé dans ce qui va suivre.

Véhicule porté sur deux essieux (fig. 2). — Soit G le centre de gravité, Q le poids total, P et P' les charges sur les essieux.

Dans ce cas la répartition de la charge est invariable; les valeurs de P et P' sont les suivantes :

$$P = Q \frac{l-d}{l},$$

$$P' = Q \frac{d}{l}.$$

Pour qu'elles soient positives il faut que l'on ait :

$$0 < d < l,$$

c'est-à-dire que la verticale du centre de gravité tombe entre les essieux.

Si $d = \frac{l}{2}$, $P = P'$, c'est-à-dire que la charge est également répartie.

Véhicule porté sur trois essieux (fig. 3). — Ce cas est essentiellement du précédent en ce que la charge que porte chaque essieu est variable.

En effet, on n'a pour déterminer les trois inconnues P, P', P'', que deux équations, savoir :

$$\begin{aligned} (1) \quad & P + P' + P'' = Q, \\ (2) \quad & Qd = P'l + P''(l+l'). \end{aligned}$$

Le problème est donc indéterminé; mais si on se donne arbitrairement la valeur d'une des variables, celles des deux autres sont déterminées.

Si on se donne par exemple la valeur de P , les charges des trois essieux sont les suivantes :

$$\begin{aligned} P &= P, \\ P' &= \frac{Q(l+l'-d) - P(l+l')}{l'}, \\ P'' &= \frac{Q(d-l) + Pl}{l'}. \end{aligned}$$

Pour qu'elles soient positives il faut que l'on ait :

$$\begin{aligned} &P > 0, \\ \text{et} \quad &\frac{Q(l-d)}{l} < P < \frac{Q(l+l'-d)}{l+l'}, \\ \text{si} \quad &P = Q \frac{(l-d)}{l}, \quad P'' = 0 \quad \text{et} \quad P' = Q \frac{d}{l}, \\ \text{si} \quad &P = Q \frac{l+l'-d}{l+l'}, \quad P' = 0 \quad \text{et} \quad P'' = Q \frac{d}{l+l'}. \end{aligned}$$

Dans le premier cas, le véhicule n'est supporté que par les deux essieux o et o' ; dans le second cas il est supporté également par les deux essieux extrêmes.

Il est intéressant de rechercher quelles conditions doivent être remplies pour que les deux essieux o' et o'' , ou même les trois essieux o , o' , o'' puissent être également chargés. On peut, en effet, être amené à désirer de semblables répartitions si les deux essieux o' et o'' , ou les trois essieux o , o' , o'' sont accouplés.

Pour que les deux essieux o' et o'' puissent supporter la même charge il faut que

$$d = \frac{(Q-P)(l'+l)}{2Q}.$$

Pour que la charge puisse être également répartie sur les trois essieux o, o', o'' , il faut que

$$d = \frac{2l + l'}{3}.$$

Si les essieux sont équidistants cette dernière condition devient

$$d = l,$$

elle exprime que le centre de gravité doit être au-dessus de l'essieu du milieu, ce qui, du reste, n'est pas une belle condition au point de vue de la stabilité de la machine.

Méthode graphique. — Ces résultats ont été exprimés géométriquement par M. Clapeyron d'une façon fort ingénieuse.

L'égalité

$$P' = \frac{Q(l + l' - d) - P(l + l')}{l'}$$

peut être considérée comme l'équation d'une ligne droite dont les divers points auraient pour abscisses les valeurs de P' et pour ordonnées les valeurs de P correspondantes.

Construisons cette ligne droite.

Prenons pour cela deux axes rectangulaires (fig. 47) et posons sur l'axe des x la valeur

$$P' = \frac{Q(l + l' - d)}{l'},$$

correspondant à $P = 0$; et sur l'axe des y la valeur

$$P = \frac{Q(l + l' - d)}{l + l'},$$

correspondant à $P' = 0$.

Joignons les deux points D et C ainsi obtenus. La ligne CD sera la ligne cherchée.

Prenons maintenant $AB = Q$; menons BF parallèle à AX, et DE parallèle à AY. Prenons $DE = AD$, et joignons CE. Considérons une droite quelconque LG parallèle à AY. Dans le triangle CED on a :

$$\frac{IK}{ED} = \frac{CI}{CD}.$$

Dans le triangle CAD on a :

$$\frac{CI}{CD} = \frac{AG}{AD};$$

D'où :

$$\frac{IK}{ED} = \frac{AG}{AD}.$$

Or :

$$AD = ED,$$

Donc :

$$IK = AG.$$

Comme d'ailleurs $GL = Q$ il en résulte que

$$GI = P,$$

$$IK = P',$$

$$KL = P''.$$

On voit donc par là que toute ligne parallèle à AB est coupée par les lignes CE, CD, AD, BF en trois parties dont chacune représente les valeurs correspondantes de P, P', P''.

On peut voir également par la discussion que cette figure exprime tous les résultats auxquels on est conduit par le calcul.

Charge totale. — Nous n'avons considéré jusqu'ici que la charge suspendue sur les essieux; mais le tracé graphique peut aussi nous donner facilement la charge totale.

Il suffit d'ajouter à chaque valeur de P, P', P'', Q, les va-

leurs en poids des roues, boîtes à graisse et ressorts correspondants, que nous désignerons par p, p', p'', q .

Pretons sur la figure (fig. 5)

$$CC' = p,$$

$$C'C'' = p',$$

$$BB' = q.$$

Menons ensuite $C'N$ parallèle à CD , $C''N''$ parallèle à $C'N$, $B'M'$ parallèle à BF .

Considérons comme précédemment la ligne GI' parallèle à AY . Il est évident que GI' représente la charge totale sous les roues d'avant, car

$$GI' = GI + II' = P + p.$$

De même IK' représente la charge totale sous les roues du milieu, car

$$IK' = IK + c'c'' = P' + p'.$$

Enfin $K'L'$ représente la charge totale sous les roues de derrière puisque :

$$K'L' = AB' - (GI' + IK') = P'' + p''.$$

Véhicule porté sur quatre essieux (fig. 6.) — Comme dans le cas précédent, la charge de chaque essieu est variable mais si on se donne arbitrairement les valeurs de deux inconnues, celles des deux autres sont déterminées par les expressions :

$$P'' = \frac{Q(l + l' - d) - P(l + l' + l'') - P'(l + l')}{l''},$$

$$P''' = \frac{Q(d - l') + P(l + l') + P'l'}{l''},$$

Pour que la charge puisse être également répartie

à quatre essieux il faut que l'on ait

$$d = \frac{2l' + l'' - l}{4}.$$

Si les essieux sont équidistants, cette condition devient $= \frac{l}{2}$, ce qui exprime que le centre de gravité doit se trouver à égale distance des deux essieux du milieu.

Méthode graphique. — On peut traiter ce cas par une méthode graphique qui, sans être aussi simple et aussi commode que celle que M. Clapeyron a appliquée au cas précédent, peut cependant être utilisée dans la pratique.

Reprenons les valeurs de P' et P'' données précédemment :

$$(1) \quad P' = \frac{Q(l' + l'' - d) - P(l + l' + l'') - P'(l' + l'')}{l''},$$

$$(2) \quad P'' = \frac{Q(d - l') + P(l + l') + P'l'}{l''}.$$

Ces égalités peuvent être considérées comme des équations entre les quatre variables P, P', P'', P''' . A ce point de vue chacune d'elles représente un plan.

Nous rapporterons ces plans à trois axes rectangulaires, OY et OZ (fig. 7), en supposant qu'on porte sur l'axe x les valeurs de P' , sur l'axe des y les valeurs de P , et sur l'axe des z les valeurs de P'' ou de P''' suivant qu'on considérera l'une ou l'autre des équations (1) et (2).

Prendons une droite quelconque GL parallèle à OZ . Soient K ses points de rencontre avec les plans (1) et (2), et traçons sur le plan coordonné XY . Les longueurs GI et GI' représenteront les valeurs de P' et P'' correspondantes aux coordonnées P et P' du point G .

Nous voyons donc dès à présent que les points de rencontre d'une droite quelconque parallèle à OZ avec les trois

plans XY (1) et (2), nous donnent facilement les valeurs correspondantes de P, P', P'' et P'''.

Mais il serait plus commode que les deux longueurs GL et GK, au lieu d'avoir une même origine G, fussent distinctes.

Pour cela, au lieu de considérer le plan (2), considérons le plan dont l'équation est :

$$(3) \quad P'' + P''' = Q - (P + P'),$$

cette équation (qui, du reste, n'est autre chose que l'une des équations d'équilibre) étant obtenue en ajoutant ensemble les deux équations (1) et (2).

Soit H le point où la droite GL rencontre ce plan (fig. 8). On aura :

$$GH = P'' + P''',$$

mais $GI = P''$, donc :

$$IH = P'''.$$

Donc les plans XY (1) et (3) coupent la droite GL en deux parties qui représentent les valeurs de P'' et P''' correspondant aux valeurs de P et de P'.

La considération des deux plans (1) et (3) et d'une quelconque GL parallèle à OZ permet donc de déterminer facilement les quatre valeurs correspondantes des charges P, P', P'' et P''' sur les quatre essieux.

Indiquons maintenant comment on peut exécuter la mesure pure.

Soient OX, OY et OZ les trois axes coordonnés. Prenons OX pour ligne de terre. Il s'agit de représenter les deux plans (1) et (3).

Représentons le plan (1). Pour cela, faisons successivement dans l'équation de ce plan

$$P = 0 \quad \text{et} \quad P' = 0,$$

$$P = 0 \quad \text{et} \quad P'' = 0,$$

$$P' = 0 \quad \text{et} \quad P''' = 0.$$

Désignons par P''_0 , P'_0 et P_0 les valeurs de P'' , P' et P correspondantes. On a :

$$P''_0 = \frac{Q(l' + l'' - d)}{l''},$$

$$P'_0 = \frac{Q(l' + l'' - d)}{l + l'},$$

$$P_0 = \frac{Q(l' + l'' - d)}{l + l' + l''}.$$

Prenons $OA = P'_0$, $OC = P_0$ et $OB = P''_0$. Joignons AC et AB. Ces deux lignes représentent les traces du plan (1) sur les plans de projection.

Représentons de même le plan (3). Si dans l'équation de ce plan nous faisons successivement

$$\begin{aligned} P &= 0 & \text{et} & & P' &= 0, \\ P &= 0 & \text{et} & & P'' + P''' &= 0, \\ P' &= 0 & \text{et} & & P'' + P''' &= 0. \end{aligned}$$

on trouve pour les valeurs correspondantes de $P'' + P'$ et P

$$\begin{aligned} P''_1 + P'''_1 &= Q, \\ P'_1 &= Q, \\ P_1 &= Q. \end{aligned}$$

Prenons donc $OD = OE = OT = Q$ et joignons DE et TE. Ces droites seront les traces du plan (3) sur les plans de projection.

On voit donc que la représentation des deux plans (1) et (3) s'obtiendra toujours très-simplement.

Soit maintenant $g, g'h'$ la droite quelconque que nous considérons. On obtiendra par les procédés graphiques ordinaires les points (g, g') de rencontre de cette droite avec les deux plans BAC, TDE, de telle sorte que les va-

leurs de P' , P , P'' et P''' seront représentées par les longueurs og' , gg' , $g'i'$ et $i'h'$.

Ressorts conjugués. — Nous désignons sous le nom de ressorts conjugués deux ou plusieurs ressorts réunis ensemble au moyen de balanciers.

Si nous supposons deux ressorts placés dans ces conditions, toute force agissant sur l'un d'eux réagit immédiatement sur l'autre.

Véhicule porté sur deux essieux (fig. 10). — Désignons par b et b' les longueurs des deux bras du balancier et le rapport $\frac{b}{b'}$.

L'équilibre ne peut exister que si l'on a :

$$\frac{d}{l} = \frac{b}{b' + b}.$$

Véhicule porté sur trois essieux. — Deux cas peuvent présenter :

Premier cas. — Tous les ressorts sont conjugués (fig. 11).

Deuxième cas. — Deux ressorts seulement sont conjugués (fig. 12).

Dans le premier cas l'équilibre n'est possible que si

$$d = \frac{rl + r'(l + l')}{1 + r + rr'}.$$

Si cette condition est remplie la répartition du poids sur les trois essieux est invariable et les poids supportés par les essieux sont les suivants :

$$\text{Essieu } a. \dots \frac{Q}{1 + r + rr'}$$

$$\text{Essieu } a'. \dots \frac{Qr}{1 + r + rr'}$$

$$\text{Essieu } a''. \dots \frac{Qrr'}{1 + r + rr'}$$

Dans le second cas, il n'y a pas d'équations de condition, le problème est déterminé, et les charges sur les trois essieux sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Essieu } o. & \dots \frac{Q(l+l'-d)}{l+l'+rl'}, \\ \text{Essieu } o'. & \dots \frac{Qr(l+l'-d)}{l+l'+rl'}, \\ \text{Essieu } o''. & \dots \frac{Q(rd-rl+d)}{l+l'+rl'}. \end{aligned}$$

Enfin, dans les deux cas précédents, pour que la charge puisse être également répartie sur les trois essieux il faut que les bras des balanciers soient égaux et que l'on ait la condition

$$d = \frac{2l+l'}{3},$$

qui se réduit à $d = l$ si les ressorts sont équidistants.

Véhicule porté sur quatre essieux. — Les divers cas qui peuvent se présenter sont les suivants :

- 1° Tous les ressorts conjugués (*fig. 13*).
- 2° Deux des ressorts extrêmes conjugués (*fig. 14*).
- 3° Les deux ressorts du milieu conjugués (*fig. 15*).
- 4° Trois ressorts voisins conjugués (*fig. 16*).
- 5° Les ressorts extrêmes conjugués deux à deux (*fig. 17*).

Dans le premier cas, le problème de la répartition de la charge sur les quatre essieux est déterminé ; mais l'équilibre n'est possible que pour une certaine position du centre de gravité.

Dans le deuxième et le troisième cas le problème est indéterminé.

Dans les deux derniers cas le problème est déterminé. Occupons-nous seulement du dernier que l'on trouve souvent réalisé dans la pratique.

Cinquième cas (fig. 17). — Équations d'équilibre :

$$\begin{aligned} 2t + 2tr + 2t'' + 2t'r' &= Q, \\ 2trl + 2t'(l + l') + 2t''r'(l + l' + l'') &= Q(l + d). \end{aligned}$$

Charges sur les quatre essieux :

$$\begin{aligned} \text{Essieu } o. & \dots \dots \frac{Q[(1+r')(l'-d+t'l'')]}{(l+l'+rl')(1+r') + r'l'(1+r)} \\ \text{Essieu } o'. & \dots \dots \frac{Qr[(1+r')(l'-d) + t'l']}{(l+l'+rl')(1+r') + r'l'(1+r)} \\ \text{Essieu } o''. & \dots \dots \frac{Q(l+d+rd)}{(l+l'+rl')(1+r') + r'l'(1+r)} \\ \text{Essieu } o'''. & \dots \dots \frac{Qr'(l+d+rd)}{(l+l'+rl')(1+r') + r'l'(1+r)} \end{aligned}$$

Il est aisé de voir que les deux dernières expressions peuvent se déduire des deux premières en remplaçant celles-ci :

$$\begin{array}{ccc} l & \text{par} & l'' \\ l'' & & l \\ l' - d & & d \\ r & & \frac{1}{r'} \\ \text{et} & & \\ r' & & \frac{1}{r} \end{array}$$

Condition pour que les quatre charges soient positives :

$$0 < d < \frac{l' + r'(l' + l'')}{1 + r'},$$

Si les essieux sont équidistants cette condition devient :

$$0 < d < \frac{l(1 + 2r')}{1 + r'},$$

Si en outre $r' = 1$ elle devient :

$$0 < d < \frac{3l}{2}.$$

Conditions pour que la charge puisse être également répartie :

$$r = r' = 1,$$

$$d = \frac{2l' + l'' - l}{4}.$$

Dans le cas d'essieux équidistants cette dernière devient :

$$d = \frac{l}{2}.$$

De l'emploi des ressorts conjugués. — Il résulte de l'étude précédente qu'il y a désavantage à relier par des balanciers tous les ressorts d'un véhicule. Car alors, quel que soit le nombre des essieux de support, l'équilibre ne peut exister que pour une position déterminée du centre de gravité. Or il arrive, en général, que le centre de gravité d'un véhicule n'a pas une position absolument fixe. Prenons pour exemple les machines et tenders. Suivant que dans les premières le niveau de l'eau sera plus ou moins élevé dans la chaudière, suivant que dans les seconds, la caisse à eau et la caisse à charbon seront plus ou moins vides, le centre de gravité occupera des positions différentes.

Aussi, dans la pratique, les véhicules à deux essieux, comme les tenders, n'ont-ils jamais leurs ressorts conjugués.

Les véhicules à trois essieux n'ont que deux essieux conjugués.

Quant aux véhicules à quatre essieux, comme les grosses machines à marchandises, ils n'ont également jamais tous

leurs ressorts conjugués; d'ailleurs l'emploi d'un seul balancier ayant l'inconvénient de laisser subsister l'indétermination du problème de la répartition, on fait usage de deux balanciers; et des raisons de symétrie faciles concevoir conduisent généralement à conjuguer deux des ressorts extrêmes (c'est le dernier cas étudié).

Enfin, il est bon de remarquer que les balanciers peuvent bien servir à répartir la charge entre les essieux qu'ils relient suivant une certaine proportion, ne sont cependant employés dans ce but. Ils sont principalement adoptés pour assurer la permanence de cette répartition qui tend à être altérée à chaque instant par suite des mouvements auxquels la machine est soumise en service.

On s'applique donc, en général, à placer le véhicule dans les conditions voulues pour que la répartition de sa charge sur les essieux soit telle qu'on la désire sans l'intervention des balanciers, et l'on compte sur ces appareils seulement pour le maintien de cette répartition normale.

Véhicules reposant sur chacun de leurs essieux par deux points. — Nous avons étudié jusqu'ici le problème de la répartition de la charge en supposant les véhicules reposant sur leurs axes.

Examinons maintenant le cas pratique où ils reposent par deux points sur chacun de leurs essieux.

Les poids supportés par chaque roue et le poids appliqué au centre de gravité constituent dans chaque roue un ensemble de forces parallèles, mais non situées dans le même plan.

Les équations d'équilibre sont donc au nombre de trois.

D'un autre côté, le nombre des inconnues n'est pas inférieur à quatre (en écartant les divers cas où tous les ressorts d'un même côté sont conjugués).

Le problème est donc toujours indéterminé.

Mais dans les cas assez nombreux où il n'y a que

inconnues (*), si l'on se donne la valeur de l'une d'elles, les deux autres sont déterminées.

Il y a intérêt à étudier la question à ce point de vue afin de pouvoir donner des règles qui permettent d'arriver sans tâtonnements à établir sur les essieux une répartition convenable.

Le problème est fort simple et se résout de la même manière dans tous les cas où il n'y a que quatre inconnues. Prenons pour exemple le cas d'un véhicule à deux essieux avec ressorts indépendants, c'est celui de la plupart des véhicules.

Considérons trois axes rectangulaires (fig. 18) ayant leur origine sur l'un des essieux et dont l'un serait parallèle aux essieux et l'autre parallèle à l'axe de la machine passant par le centre de gravité.

Les équations d'équilibre sont :

$$P + P_1 + P' + P'' = Q,$$

$$Qd = (P' + P'')l,$$

$$(P + P')e = (P_1 + P'')e_1.$$

Les valeurs de P_1 , P' et P'' , tirées de ces équations en fonction de P sont :

$$P_1 = Q \frac{l-d}{l} - P,$$

$$P' = Q \frac{e}{e+e_1} - P,$$

$$P'' = Q \left(\frac{d}{l} - \frac{e}{e+e_1} \right) + P.$$

) *Ressorts indépendants.* Véhicule porté sur deux essieux;

Ressorts conjugués. { Véhicule porté sur trois essieux (1^{er} cas);
 { Véhicule porté sur quatre essieux (2^e et 3^e cas).

Donc, si P devient $P + p$,

$$\begin{array}{ll} P_1 & \text{devient} \quad P_1 - p, \\ P' & P' - p, \\ P_1' & P_1' + p. \end{array}$$

Donc, *quelle que soit la position du centre de gravité*, en chargeant la roue O d'une certaine quantité, on décharge les roues o_1 et o' , et on charge la roue o'_1 de la même quantité.

On peut exprimer ces résultats en disant que les charges totales sur chaque essieu oo_1 , $o'o'$, et sur chaque longeron oo'_1 , $o_1o'_1$, sont constantes.

Dans les cas où le problème renferme plus de quatre inconnues il n'est pas possible de déduire de la charge d'une des roues celles des autres.

Dans le cas de trois essieux avec des ressorts indépendants par exemple, il y a six inconnues. Il faut donc donner les charges de trois roues pour connaître celles des trois autres.

Remarques sur l'emploi des ressorts guidés. — Pour approfondir cette note, nous dirons quelques mots de l'inconvénient que peut présenter dans les machines l'emploi des ressorts guidés, au point de vue de la répartition de la charge.

Lorsqu'un ressort, par suite du mode de construction de la machine, se trouve placé à une certaine hauteur au-dessus de sa boîte à graisse, il lui transmet le poids qu'il supporte par l'intermédiaire d'une tige dont la position est assurée par un guide qui l'embrasse étroitement.

Pour permettre au ressort de fonctionner librement la tige est articulée avec la bride au moyen d'une sorte de genou, ou bien encore elle est terminée par un teton qui pénètre dans la bride.

Or il arrive quelquefois que ce teton est très-juste dans la bride.

Il en résulte que le ressort n'est plus libre de pivoter autour de son point d'appui sur la tige, et qu'il se trouve placé absolument dans les mêmes conditions que s'il était rattaché par son milieu.

Il est facile de comprendre les inconvénients de cet état de choses.

Si on agit sur une seule des tiges de suspension, sur la tige AT par exemple (fig. 19), la partie AO du ressort travaille seule; les conditions de OB et de BS restent les mêmes. Le moment de t n'est plus égal à celui de t' . L'équilibre ne persiste donc que par suite de l'intervention de forces nouvelles qui sont les réactions du guide. Ces actions déterminent des frottements plus ou moins considérables de la tige contre le guide et ont pour effet de rendre le ressort moins sensible (*).

Il peut même arriver que la différence entre t et t' soit assez grande pour empêcher complètement le ressort de fonctionner sous l'action des forces ordinaires auxquelles la machine est soumise en service.

Dans ce cas, la répartition de la charge est tout à fait stable.

*) Cherchons les expressions de ces frottements: Supposons la tension t supérieure à la tension t' d'une quantité θ (fig. 20). Désignons par g et g' les réactions du guide. Prenons les moments par rapport au point o:

$$(1) \quad (t + \theta)a + g'c = tb + g(c + d).$$

Prenons les moments par rapport au point G:

$$(2) \quad (t + \theta)a = tb + g'd.$$

Remarquons que a est très-peu différent de b ; car dans la pratique les ressorts ayant très-peu de flèche, la courbe décrite par le point A, quand le ressort s'aplatit se confond sensiblement avec la tangente verticale. Donc la distance a varie très-peu lorsque la tension de la tige de suspension AT, qui était primitivement t au repos où a était rigoureusement égal à b , devient $t + \theta$. Nous

On peut se rendre compte de cette instabilité.

En effet, considérons la machine au moment où l'on cherche à établir une répartition convenable en agissant sur ses divers ressorts.

Quand on charge une des roues, on fait varier en même temps la charge d'une ou de plusieurs autres; et on agit par conséquent à modifier la position du châssis.

Supposons, par exemple, qu'à l'aplomb d'une certaine roue le longeron soit sollicité à s'abaisser. Le frottement du guide sur la tige pourra être suffisant pour empêcher cet abaissement d'avoir lieu. Un certain état d'équilibre s'établira dans ces conditions.

Mais quand la machine sera mise en service, il peut se faire que, par suite d'une secousse plus ou moins forte, le frottement du guide soit vaincu; le longeron alors s'abaisse.

pouvons donc poser sans erreur sensible $ta = tb$. Alors l'équation donne :

$$g' = \frac{\theta a}{d}.$$

Remplaçant g' par sa valeur dans l'équation (1) et résolvant par rapport à g , on trouve :

$$g = \frac{\theta a}{d},$$

ce qui montre que $g = g'$.

En désignant par f le coefficient de frottement, on aura l'expression du frottement de la tige sur le guide :

$$(g + g') f,$$

ou bien, en remplaçant g et g' par leurs valeurs :

$$\frac{2\theta a}{d} f.$$

Donc ce frottement est proportionnel, directement aux quantités a , θ et f et inversement à d .

Il y a donc avantage pour affaiblir ce frottement à ce que la tige guidée sur une grande longueur.

sera. Les charges des divers ressorts seront modifiées, et un nouvel état d'équilibre en résultera.

A chaque secousse les mêmes faits se reproduiront, et la répartition de la charge variera sans cesse.

C'est ce que confirme pleinement l'expérience. Quand on essaie de répartir suivant une certaine loi la charge d'une machine munie de ressorts guidés dont les brides ne sont pas articulées librement avec les tiges, les résultats auxquels on parvient sont entièrement illusoires, et il suffit de faire faire à la machine quelques tours de roues pour que la répartition de charge qu'on avait prise soit modifiée.

On doit conclure des considérations qui sont de la plus grande importance, dans les machines, d'assurer, par une disposition vertébrale des mouvements que peuvent produire tous les actions de leurs tiges de suspen-

Toulouse, le 15 octobre 1865.



TABLE DES MATIÈRES

DU TOME HUITIÈME.

MINÉRALOGIE. — GÉOLOGIE.

	Pages.
Mémoire sur le gisement salin de Stassfurt-Anhalt, par M. E. Fuchs, ingénieur des mines.	1
Extraits de minéralogie, par MM. Daubrée, ingénieur en chef, et Cornu, élève ingénieur des mines.	219

	Indication des pages.
Traité de minéralogie.	Des Cloizeaux. 219

Propriétés générales.

Polymétrie. — Polysymétrie.	Scaerbi. 220
Isométrie.	Scaerbi. 220
Isotétrie.	Sella. 220
Développement des cristaux.	Frankenheim. 22
Théorie cristallogénique.	Kuhlmann. . . 226
	Scharff. 227
Théorie de la cristallisation.	Hauer. 227
	Nauk. 227
Théorie morphogénie moléculaire.	Gaudin. 227

Chaleur et lumière.

Modification de l'angle des axes optiques du feldspath or- hose par la chaleur.	Des Cloizeaux. 221
Mesure des axes optiques.	Des Cloizeaux. 221
Propriétés optiques du castor et du pétalite.	Des Cloizeaux. 222
Rotation et double réfraction de quelques minéraux. . . .	Fizeau. 222
Phosphorescence et fluorescence.	E. Becquerel. 224
Modification de la couleur des minéraux par la chaleur. . .	Jannettaz. . . . 228

Magnétisme.

Propriétés magnétiques du mica.	Plücher. 225
---	----------------------

Électricité.

Pyroélectricité de la pyrite.	Friedel. 225
---------------------------------------	----------------------

Isomorphisme.

Sulfure de zinc.	Friedel.	Indice des pages
--------------------------	------------------	---------------------

Densité.

Zircons. — Variation avec la chaleur.	Dumont.	1
---	-----------------	---

Production artificielle de minéraux.

Voie sèche.	Fer oxydulé, martite, etc. Étain oxydé, rutile Sulfures métalliques. Willemite. Anatase, brookite, rutile. Sphène, perowskite. Titanates.	H. Sainte-Claire Deville. Hantelouille	. .
Voie humide.	Oxydes cristallisés. Galène et cuivre pyriteux. Boracites. Carbonate de chaux. Levyné. Oxydes de manganèse et de fer. Silice et alumine hydratés. Calcédoine, arragonite. Arragonite.	Debray Debray Saint-Clair G. Rose. H. Sainte-Claire Deville. Kuhlmann. Becquerel Peters. Fremy. Scharff. . . . .	. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .
Indices sur la formation des topazes et des zircons.	H. Sainte-Claire Deville. . . . .	. . . . . . . . . .	. . . . . . . . . .
Cristaux de soufre.	Gergens.	1	1

Description des minéraux. — Silicates et borates.

Orthose.	Deussen et Schöfer.	1
Lépidolithe.	Schröter.	1
Harmotome, philipsite.	Cooper.	1
Grenat. . . . .	. . . . .	1
Silice. . . . .	. . . . .	1
Isomorphisme de quelques silicates.	Ramond.	1
Action de la potasse sur les silicates. . . . .	. . . . .	1
Stilbite. . . . .	. . . . .	1
Tourmalines.	A. Mitscherlich	1
Preuves de la baryte dans les orthoses.	A. Mitscherlich	1
Jade vert.	Dumortier.	1
Mica.	Schoenherz.	1
Borate de magnésie.	Stromeyer et Peten.	1

TABLE DES MATIÈRES.

523

	Indication des pages.
Glossaccolite.....	244
Rastolite.....	244
Pholérite.....	Pisani..... 244
Pollux.....	245
Pseudomorphose de pyroxène.....	245
Borate sodico-calcite (zinkalsite).....	Phipson..... 246
Chlorite.....	Divers obtenus..... 246
Amphigène.....	Bergman..... 246

Métaux.

Dianium.....	H. Sainte-Claire Deville et Da- mour..... 247
Fer titané.....	Maggenath..... 247
Platine, étain, or.....	Dumour..... 250

Composés divers.

Phosphénite.....	Sella..... 247
Wagite (silicate de zinc).....	Radoskovski..... 248
Minéraux du tantale et du niobium et de l'yttrium.....	Nordensjoeld..... 000
Uranite.....	Pisani..... 248
Dufrenoyte.....	249
Sulvre gris.....	Méne..... 250
Acide vanadique.....	Phipson..... 251
Stibiconise.....	Malaguti..... 252
Sequoxyde de fer.....	

Combustibles.

Pétroles d'Amérique.....	Pelouze et Ca- ours..... 252
--------------------------	---------------------------------

Météorites.

Description de la collection de Berlin.....	G. Rose..... 253
Météorite de Bahia.....	Wöhler et Martins..... 253
Quartz cristallisé dans un fer météorique.....	G. Rose..... 253
Météorique de Chassigny.....	Damour..... 253
Ter chromé.....	Shepard..... 254

Observations diverses.

Persolidification.....	Fournet..... 254
Présence de métaux alcalins dans certains calcaires.....	Kirchhof et Bensen..... 255
Présence de l'osone dans la fluorite.....	Schröter..... 255
Action de la silice sur les carbonates alcalins.....	Scheerer..... 255
Observations docimasiques.....	Mitscherlich..... 256
Observations géologiques.....	Bertsmédalson..... 256
Matériaux de construction.....	Kuhlmann..... 256
Analyses diverses.....	Domeiko..... 257
Arphosidélite.....	Pisani..... 258

Extraits de géologie, par MM. *Delesse*, ingénieur en chef, et
de *Lapparent*, ingénieur des mines.

CHIMIE.

Rapport sur la composition des gaz dégagés par la source de
Bourbon-l'Archambault, par M. de *Gouvenain*, ingénieur
des mines.

MÉTALLURGIE. — MINÉRALURGIE.

Note sur le dégraisseur mécanique de M. *Minary*, par M. *Résal*,
ingénieur des mines.
Fabrication de l'acier par le procédé Bessemer à l'usine de
Grätz, par M. *Castel*, ingénieur des mines.
Sur le mode de chargement des hauts fourneaux au coke de
M. *Minary*, par M. *Résal*, ingénieur des mines.

MÉCANIQUE. — EXPLOITATION.

Note sur des pompes servant à l'alimentation de la distribu-
tion d'eaux de la ville de Périgueux, par M. *Harlé*, ingé-
nieur en chef des mines.
Notes sur la détermination du nombre des passagers à ad-
mettre sur les bateaux à vapeur, par MM. *Kleitz*, inspecteur
général des ponts et chaussées, et *Jonchier*, ingénieur des
constructions navales.
Note sur un appareil servant à détendre la vapeur à des pres-
sions déterminées, par M. *B. Rolland*, directeur général
des manufactures de l'État.
Mémoire sur les propriétés mécaniques de la vapeur d'eau
par M. *Résal*, ingénieur des mines.

CONSTRUCTION ET CHEMINS DE FER.

Note sur les perturbations produites dans le mouvement des
machines à vapeur par les pièces mobiles de ces machines
par M. *Arnoux*, ingénieur des mines.
Note sur le service à huit roues couplées (machines Engerth
découplées) des chemins de fer de l'Est, par M. *Vuillemin*,
ingénieur en chef du matériel.
Note sur la répartition de la charge des véhicules des che-
mins de fer sur leurs essieux, par M. *G. Damas*, sous-chef
de traction du chemin de fer du Midi.

EXPLICATION DES PLANCHES.

DU TOME HUITIÈME.

	Pages.
I. Gisement salin de Stassfurt-Anhalt.	1
II.	
ig. 1. Granulation des laitiers à l'usine de Braisans (Doubs). . . .	115
ig. 2 à 6. Nouvelle pompe de la distribution d'eau de Périgueux. . .	123
ig. 2. Vue de face.	
ig. 3. Vue de côté.	
R Réservoir d'alimentation. — t Tuyau d'aspiration. — t' Tuyau de refoulement. — n. Tube en verre indicateur du niveau de l'eau dans la cloche à air. — rr Robinets servant à l'introduction de l'air dans la cloche. — v Arbre de la roue hydraulique. — u Vo- lant.	
g. 4. Élévation et coupe longitudinale des corps de pompe et de la boîte à soupape.	
ss Disposition des soupapes à clapet.	
7. 5. Vue en dessus et coupe horizontale des corps de pompe.	
7. 6. Tracé géométrique du mouvement des pistons.	
7. 7. Convertisseur Bessemer des ateliers de Gratz (Styrie). . . .	149
7. 8 à 10. Composition des gaz de la source de Bourbon-l'Archam- bault.	16
8. Disposition de l'appareil employé pour recueillir les gaz qui se égagent à la surface du réservoir de la source thermale de Bour- bon-l'Archambault.	
9. Appareils destinés à transvaser et à contenir ces gaz.	
10. Aspirateur pour l'analyse de l'atmosphère de la salle d'aspi- ration provisoire établie sur le réservoir de la source thermale de Bourbon-l'Archambault.	

